

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

El presente trabajo se enfoca en el diagnóstico energético en el sistema de iluminación, por lo que es necesario abordar sobre algunos puntos referentes al tema, como antecedentes y teoría de lo que fueron las actividades realizadas durante mi estancia de servicio social en el Plantel del Valle de la UACM.

Comenzare pues, hablando de la energía, punto importante que se toca en los diagnósticos energéticos.

2.1 Energía

En nuestro lenguaje se define así la palabra energía: poder para obrar, fuerza de voluntad, vigor, tesón en la actividad y en la física, como la capaz de transformarse en trabajo mecánico.

Es más fácil explicar para que sirve la energía que tratar de definir su esencia. Quizás esa sea la causa por la cual la definición más breve y común establezca que la energía es todo aquello capaz de producir o realizar un trabajo, lo cual en última instancia no es sino la expresión de una relación física.

La evolución de la humanidad ha estado ligada a la utilización de la energía en sus distintas formas. El hombre moderno ha aprendido a usar esas diferentes formas de energía y a transformarlas de un tipo a otro⁵.

Dada la importancia de la energía, se hace de vital importancia aplicar medidas para su ahorro, y para esto recurrimos a los diagnósticos energéticos.

⁵ Alba, Fernando, *Introducción a los energéticos*, en este libro se citan las diferentes formas de energía, su uso y transformación.

2.2 Diagnóstico energético

Un diagnóstico energético es la aplicación de un conjunto de técnicas que permite determinar el grado de eficiencia con la que es utilizada la energía. Consiste en el estudio de todas las formas y fuentes de energía, en donde se determina dónde y cómo son empleadas, además de especificar cuanta es desperdiciada por medio de un análisis crítico de la instalación consumidora. El diagnóstico es el punto de partida para la implementación y gestión de un programa de ahorro de energía, que tendrá efectos positivos para el uso eficiente de la energía, la reducción de la facturación y la reducción de los impactos ambientales.

2.2.1 Tipos de diagnósticos energéticos

Para facilitar el uso del diagnóstico energético se ha concebido una clasificación por grados.

- *Diagnóstico de primer grado*: Mediante los diagnósticos energéticos de primer grado se detectan medidas de ahorro cuya aplicación es inmediata y con inversiones marginales. Consiste en la inspección visual del estado de conservación de las instalaciones, el análisis de los registros de operación y mantenimiento que rutinariamente se llevan en cada instalación; así como el análisis de la información estadística de consumos y gastos por concepto de energía eléctrica y combustibles.

Al realizar estos diagnósticos se deben considerar los detalles detectados visualmente y que se consideren como desperdicios de energía (tales como falta de aislamiento); asimismo, se deben detectar y cuantificar los costos y posibles ahorros producto de la administración de la demanda de energía eléctrica y de la corrección del factor de potencia. Cabe recalcar que en este tipo de estudio no se pretende efectuar un análisis exhaustivo del uso de la energía, sino precisar medidas de aplicación inmediata.

- *Diagnóstico de segundo grado*: Comprende la evaluación de la eficiencia energética en áreas y equipos intensivos en su uso, como los motores eléctricos y los equipos que estos accionan, como los de compresión y bombeo, los que integran el área de servicios auxiliares, entre otros. Este tipo de diagnóstico requiere de un análisis detallado de los registros históricos de las condiciones de operación de los equipos, lo que incluye la información sobre volúmenes manejados o procesados y los consumos específicos de energía. La información obtenida directamente en la operación se compara con la de diseño, para obtener las variaciones de eficiencia.

El primer paso es detectar las desviaciones entre las condiciones de operación con las del diseño, para así jerarquizar el orden de análisis de cada equipo o proceso. El paso siguiente es conocer el flujo de energía, servicio o producto perdido por el equipo en estudio. Los balances de materia y energía, los planos unifilares actualizados, así como la disposición de los índices energéticos reales y de diseño complementan el diagnóstico, ya que permiten establecer claramente la distribución de la energía en las instalaciones, las pérdidas y desperdicios globales, y así determinar la eficiencia con la que es utilizada la energía. Finalmente, se deben evaluar, desde el punto de vista económico, las medidas que se recomienden llevar a cabo, tomando en consideración que éstas se deben pagar con los ahorros que se alcancen y que en ningún momento deben poner en riesgo la liquidez de la empresa.

- *Diagnóstico de tercer grado*: Consiste en un análisis exhaustivo de las condiciones de operación y las bases de diseño de una instalación, mediante el uso de equipos especializados de medición y control. Debe realizarse con la participación de especialistas de cada área, auxiliados por el personal de ingeniería. En estos diagnósticos es común el uso de técnicas de simulación de procesos, con la finalidad de estudiar diferentes esquemas de interrelación de equipos y procesos. Además, facilitan la evaluación de los efectos de cambios de condiciones de operación y de modificaciones del consumo específico de energía, por lo que se requiere información completa de los flujos de materiales, combustibles, energía eléctrica, así como de las variables de

presión, temperatura y las propiedades de las diferentes sustancias o corrientes.

Las recomendaciones derivadas de estos diagnósticos generalmente son de aplicación a mediano plazo e implican modificaciones a los equipos y procesos, e incluso de las tecnologías utilizadas. Debido a que las inversiones de estos diagnósticos son altas, la evaluación económica debe ser rigurosa en cuanto al período de recuperación de la inversión.

Una vez dicho que son los diagnósticos energéticos y sus tipos, toca ahora dar información con respecto a la ingeniería de iluminación, parte que toma importancia en este estudio, ya que va de la mano con el principal ahorro de energía que se pretende alcanzar en el sistema de iluminación, junto con el confort de los trabajadores.

2.3 Luminotecnia

La instalación eléctrica es solo el punto de partida para la implementación de otros sistemas que tienen su fuente en el uso de la energía eléctrica. Uno de ellos es el sistema de Iluminación artificial.

Refiriéndose a éste, el hombre a lo largo de la historia fue utilizando distintos recursos de acuerdo a la tecnología a su alcance para suplir la luz solar. En el comienzo contó sólo con el fuego hasta que, recién a fines del siglo XIX con el uso de la lámpara de filamento provoca un salto abrupto.

La iluminación natural debe ser aprovechada, es por eso que la correcta orientación de los locales en relación a su función es primordial para el logro del confort en ese sentido. Una vez hecho el diseño racional, el costo del uso y mantenimiento del sistema de iluminación artificial deberá ser óptimo.

Se debe de hacer un cálculo de la cantidad de luz deseada para cada zona, poner en paralelo la eficacia de cada lámpara que dependerá de la luz que brinda sobre lo que se consume y cuesta cada una y decidir al respecto.

Por eso se deberá tener un conocimiento básico de las distintas características de las luminarias y lámparas que afectará su capacidad de decidir.

2.3.1 La luz

La luz, que llega a nuestros ojos y nos permite ver, es un pequeño conjunto de radiaciones electromagnéticas de longitudes de onda comprendidas entre los 380 nm y los 770 nm. Aproximadamente el 80% de las impresiones sensoriales humana son de naturaleza óptica; esto evidencia la importancia de la luz, natural y artificial, como vehículo de información para el desarrollo de cualquier actividad.

2.3.2 Rendimiento de color de las fuentes luminosas

Vemos una pared verde o roja porque refleja las radiaciones luminosas verdes o rojas y absorbe todos los demás colores del espectro. Esto es cierto si la fuente luminosa produce una cantidad suficiente de radiaciones en la zona verde o roja del espectro visible. Por lo tanto, una buena restitución de los colores por parte de una fuente de luz artificial está condicionada al hecho de que ésta emita todos los colores del espectro. Si faltara uno cualquiera de ellos, éste no podría ser reflejado.

Las propiedades de una lámpara a los efectos de la reproducción de los colores se valoran mediante el *índice de rendimiento cromático (IRC)*. Este factor se determina comparando la luz emitida por la lámpara objeto de examen con la luz de una fuente patrón que tenga la misma temperatura de color⁶.

⁶ Es una valoración del color de las fuentes luminosas adoptadas por los fabricantes de lámparas. (Westinghouse, *Manual del alumbrado*)

2.3.3 Magnitudes fotométricas

Flujo luminoso

Cantidad de luz emitida por una fuente luminosa en la unidad de tiempo (segundo). Su símbolo es Φ (léase *fi*) y su unidad de medida es el lumen (lm).

Intensidad luminosa

Parte del flujo emitido, por una fuente luminosa, en una dirección dada por el ángulo sólido que lo contiene. Su unidad de medida es la candela (cd).

Eficiencia luminosa

Relación entre el flujo emitido (Φ) y la potencia eléctrica absorbida (P), expresada en watts (W). Indica el rendimiento de una lámpara o de una luminaria. Por lo tanto, cuanto mayor sea la eficiencia luminosa, tanto más económico resultará el empleo de la fuente luminosa. Su símbolo es η (léase *eta*) y su unidad de medida es el lumen por watt (lm/W).

Iluminación

Flujo luminoso (Φ) por unidad de superficie (S). Su símbolo es E y su unidad de medida es el lux (lux = lumen/m²).

Luminancia

Intensidad luminosa emitida en una dirección dada por una superficie luminosa o iluminada (fuente secundaria de luz). Dicho de otro modo, expresa el efecto de luminosidad que una superficie produce en el ojo humano. Su símbolo es L , y su unidad de medida es candela por metro cuadrado (cd/m²).

Vida o duración⁷

Es el tiempo, medido en horas de funcionamiento, que transcurre hasta que una fuente de luz es considerada inútil según un determinado criterio. En general se definen dos tipos de duración.

⁷ Fernández Salazar, *Técnicas y aplicaciones de la iluminación*.

- Vida media: se considera que la fuente de luz es inútil cuando deja de funcionar.
- Vida útil: se considera que la fuente de luz es inútil cuando, a pesar de seguir en funcionamiento, no satisface algún requisito de prestaciones.

2.3.4 Propiedades de la luz

Cuando la luz encuentra un obstáculo en su camino choca contra la superficie de este y una parte es reflejada. Si el cuerpo es opaco el resto de la luz será absorbida. Si es transparente una parte será absorbida como en el caso anterior y el resto atravesará el cuerpo transmitiéndose. Así pues, tenemos tres posibilidades:

- Reflexión.
- Transmisión-refracción.
- Absorción.

Para cada una se define un coeficiente que nos da el porcentaje correspondiente en tanto por uno. Son el factor de reflexión (ρ), el de transmisión (τ) y el de absorción (α).

La luz tiene también otras propiedades, como la polarización, la interferencia, la difracción o el efecto fotoeléctrico, pero las tres antes mencionadas son las más importantes en luminotecnia.

La reflexión es un fenómeno que se produce cuando la luz choca contra la superficie de separación de dos medios diferentes (ya sean gases como la atmósfera, líquidos como el agua o sólidos) y está regida por la ley de la reflexión. La dirección en que sale reflejada la luz viene determinada por el tipo de superficie. Si es una superficie brillante o pulida se produce la reflexión regular en que toda la luz sale en una única dirección. Si la superficie es mate y la luz sale desperdigada en todas direcciones se llama reflexión difusa. Y, por

último, está el caso intermedio, reflexión mixta, en que predomina una dirección sobre las demás. Esto se da en superficies metálicas sin pulir, barnices, papel brillante, etc.

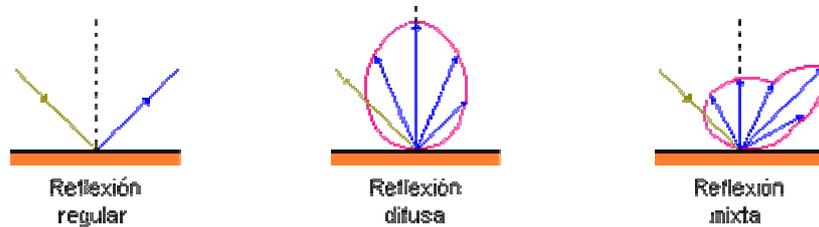


Figura 2. 1. Propiedades de la luz
(Fuente: Boix, Oriol; *Luminotecnia*)

La refracción se produce cuando un rayo de luz es desviado de su trayectoria al atravesar una superficie de separación entre medios diferentes según la ley de la refracción. Esto se debe a que la velocidad de propagación de la luz en cada uno de ellos es diferente.

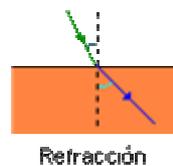


Figura 2. 2. Refracción
(Fuente: Boix, Oriol; *Luminotecnia*)

La transmisión se puede considerar una doble refracción. Si pensamos en un cristal; la luz sufre una primera refracción al pasar del aire al vidrio, sigue su camino y vuelve a refractarse al pasar de nuevo al aire. Si después de este proceso el rayo de luz no es desviado de su trayectoria se dice que la transmisión es regular como pasa en los vidrios transparentes. Si se difunde en todas direcciones tenemos la transmisión difusa que es lo que pasa en los vidrios translúcidos. Y si predomina una dirección sobre las demás tenemos la mixta como ocurre en los vidrios orgánicos o en los cristales de superficie labrada.

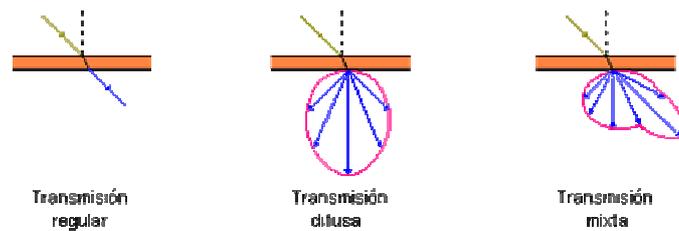


Figura 2. 3. Transmisión
(Fuente: Boix, Oriol; *Luminotecnia*)

La absorción es un proceso muy ligado al color. El ojo humano sólo es sensible a las radiaciones pertenecientes a un pequeño intervalo del espectro electromagnético. Son los colores que mezclados forman la luz blanca.

Cuando la luz blanca choca con un objeto una parte de los colores que la componen son absorbidos por la superficie y el resto son reflejados. Las componentes reflejadas son las que determinan el color que percibimos. Si las reflejan todas es blanco y si las absorbe todas es negro. Un objeto es rojo porque refleja la luz roja y absorbe las demás componentes de la luz blanca. Si iluminamos el mismo objeto con luz azul lo veremos negro porque el cuerpo absorbe esta componente y no refleja ninguna. Queda claro, entonces, que el color con que percibimos un objeto depende del tipo de luz que le enviamos y de los colores que este sea capaz de reflejar.

2.3.5 Importancia higiénica de la iluminación

Gracias a la luz captamos las impresiones de claridad, relieve, forma, color y movimiento de los objetos que forman nuestro mundo exterior.

La correcta iluminación de todo lugar de trabajo tiene extraordinaria importancia debido a que previene al trabajador contra el cansancio ocular e impide o limita los trastornos de su aparato visual (miopía, astigmatismo, etcétera.), aumenta su rendimiento laboral al favorecer la rápida visión de los materiales y maquinaria, y contribuye a evitar accidentes personales al identificar claramente elementos de riesgo tales como: cables eléctricos, instrumentos cortantes, etcétera.

El parpadeo es un fenómeno defensivo que favorece el reposo y la lubricación del globo ocular. En condiciones normales se producen entre cuatro y cinco parpadeos por minuto. La mala iluminación eleva su número a 10 o más, produciendo fatiga visual y aumentando la posibilidad de accidentes. También el exceso de iluminación provoca trastornos oculares.

2.3.6 Ventajas de la iluminación natural

La iluminación natural depende de la luz solar directa (fuente primordial), de la reflejada por el cielo y de la reflejada por los objetos después de recibir la luz de las otras fuentes.

Tanto la luz solar directa como la difusa son muy importantes para la actividad del organismo: la luz directa tiene acción bactericida y la luz difusa es la más conveniente para el trabajo, ya que no hiere ni fatiga los ojos, porque tiene intensidad uniforme, y no da sombras marcadas.

Para que la luz se distribuya en cantidad suficiente entre los distintos cuerpos de un edificio es necesario que exista una separación de una vez y media la altura del edificio.

La entrada de luz se efectúa a través del techo y de las ventanas. La posición, forma y dimensiones de éstas favorecen la penetración de la luz natural y le permiten expandirse sobre la mayor superficie del local. Los rayos luminosos deben ingresar de tal manera que los ojos de los operarios no estén sometidos a los efectos del deslumbramiento.

2.3.7 Iluminación artificial

La iluminación artificial tiene por objeto reemplazar a la natural cuando esta falta o escasa. La iluminación artificial debe parecerse lo más posible a la natural. A cada uno de los lugares en que se desarrollan distintas funciones

conviene una intensidad de iluminación determinada. Existen tablas donde se recomiendan iluminaciones mínimas según tareas.

2.3.8 Iluminación de interiores

La determinación de los niveles de iluminación adecuados para una instalación no es un trabajo sencillo. Hay que tener en cuenta que los valores recomendados para cada tarea y entorno son fruto de estudios sobre valoraciones subjetivas de los usuarios (comodidad visual, agradabilidad, rendimiento visual, etcétera). El usuario estándar no existe y por tanto, una misma instalación puede producir diferentes impresiones a distintas personas. En estas sensaciones influirán muchos factores como los estéticos, los psicológicos, el nivel de iluminación, etcétera⁸.

Como principales aspectos a considerar se tratan los siguientes:

- El deslumbramiento
- Lámparas y luminarias
- El color
- Sistemas de alumbrado
- Métodos de alumbrado
- Niveles de iluminación
- Depreciación de la eficiencia luminosa y mantenimiento

Deslumbramiento

El deslumbramiento es una sensación molesta que se produce cuando la luminancia de un objeto es mucho mayor que la de su entorno. Es lo que ocurre cuando miramos directamente un foco o cuando vemos el reflejo del sol en el agua. Existen dos formas de deslumbramiento, el perturbador y el molesto. El primero consiste en la aparición de un velo luminoso que provoca una visión borrosa, sin nitidez y con poco contraste, que desaparece al cesar su causa. El segundo consiste en una sensación molesta provocada porque la

⁸ Westinghouse, *Manual del alumbrado*.

luz que llega a nuestros ojos es demasiado intensa produciendo fatiga visual. Esta es la principal causa de deslumbramiento en interiores.

Pueden producirse deslumbramientos de dos maneras. La primera es por observación directa de las fuentes de luz; por ejemplo, ver directamente las luminarias.

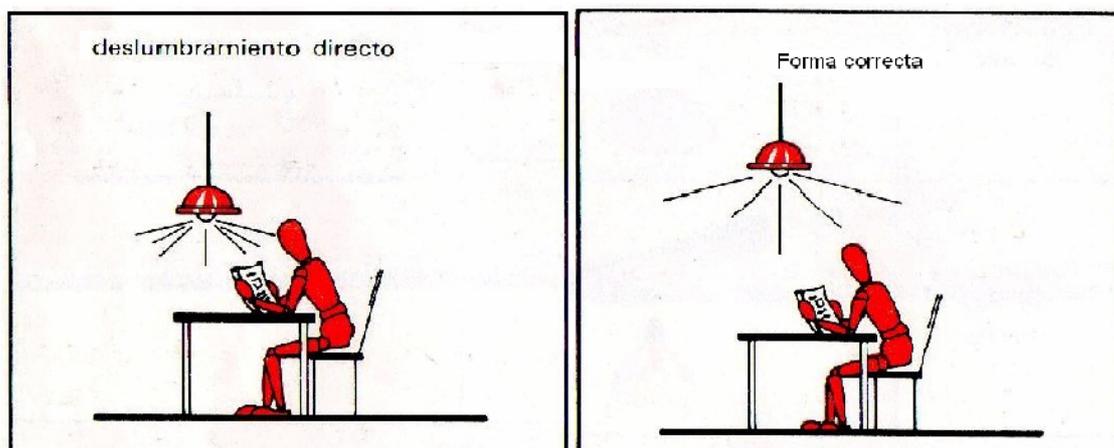


Figura 2. 4. Deslumbramiento directo
(Fuente: Re, Vittorio; *Iluminación interna*)

Y la segunda es por observación indirecta o reflejada de las fuentes como ocurre cuando las vemos reflejada en alguna superficie (una mesa, un mueble, un cristal, un espejo...).

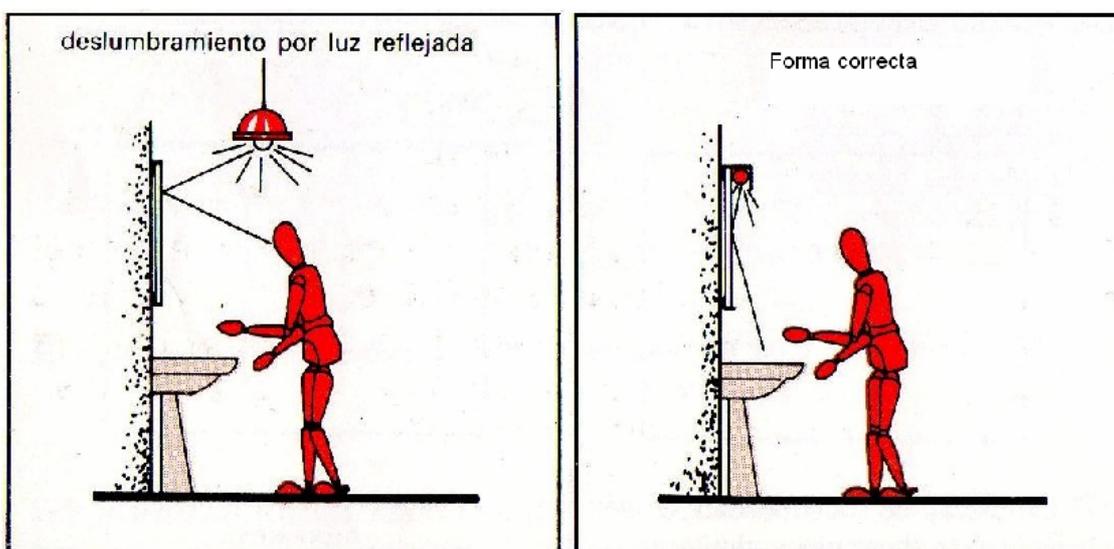


Figura 2. 5. Deslumbramiento por luz reflejada
(Fuente: Re, Vittorio; *Iluminación interna*)

Estas situaciones son muy molestas para los usuarios y deben evitarse. Entre las medidas que podemos adoptar tenemos ocultar las fuentes de luz del campo de visión usando rejillas o pantallas, utilizar recubrimientos o acabados mates en paredes, techos, suelos y muebles para evitar los reflejos, evitar fuertes contrastes de luminancias entre la tarea visual y el fondo y/o cuidar la posición de las luminarias respecto a los usuarios para que no caigan dentro de su campo de visión.

Lámparas y luminarias

Las lámparas empleadas en iluminación de interiores abarcan casi todos los tipos existentes en el mercado (incandescentes, halógenas, fluorescentes, etcétera)⁹. Las lámparas escogidas, por lo tanto, serán aquellas cuyas características (fotométricas, cromáticas, consumo energético, economía de instalación y mantenimiento, etc.) mejor se adapten a las necesidades y características de cada instalación (nivel de iluminación, dimensiones del local, ámbito de uso, potencia de la instalación, etcétera)¹⁰.

La elección de las luminarias está condicionada por la lámpara utilizada y el entorno de trabajo de esta¹¹. Hay muchos tipos de luminarias y sería difícil hacer una clasificación exhaustiva. La forma y tipo de las luminarias oscilará entre las más funcionales donde lo más importante es dirigir el haz de luz de forma eficiente como pasa en el alumbrado industrial a las más formales donde lo que prima es la función decorativa como ocurre en el alumbrado doméstico.

Las luminarias para lámparas incandescentes tienen su ámbito de aplicación básico en la iluminación doméstica. Por lo tanto, predomina la estética sobre la eficiencia luminosa. Sólo en aplicaciones comerciales o en luminarias para iluminación suplementaria se buscará un compromiso entre ambas funciones. Son aparatos que necesitan una pantalla pues el filamento

⁹ Martín Sánchez; *Fuentes de luz*.

¹⁰ Re, Vittorio, *Iluminación interna*.

¹¹ Ídem.

de estas lámparas tiene una luminancia muy elevada y pueden producir deslumbramientos.

En segundo lugar tenemos las luminarias para lámparas fluorescentes. Se utilizan mucho en oficinas, comercios, centros educativos, almacenes, industrias con techos bajos, etc. por su economía y eficiencia luminosa. Así pues, nos encontramos con una gran variedad de modelos que van de los más simples a los más sofisticados con sistemas de orientación de la luz y pantallas (modelos con rejillas cuadradas o transversales y modelos con difusores).

Por último tenemos las luminarias para lámparas de descarga a alta presión. Estas se utilizan principalmente para colgar a gran altura (industrias y grandes naves con techos altos) o en iluminación de pabellones deportivos, aunque también hay modelos para pequeñas alturas. En el primer caso se utilizan las luminarias intensivas y los proyectores y en el segundo las extensivas.

El color

Para hacernos una idea de como afecta la luz al color consideremos una habitación de paredes blancas con muebles de madera de tono claro. Si la iluminamos con lámparas incandescentes, ricas en radiaciones en la zona roja del espectro, se acentuarán los tonos marrones de los muebles y las paredes tendrán un tono amarillento. En conjunto tendrá un aspecto cálido muy agradable. Ahora bien, si iluminamos el mismo cuarto con lámparas fluorescentes normales, ricas en radiaciones en la zona azul del espectro, se acentuarán los tonos verdes y azules de muebles y paredes dándole un aspecto frío a la sala. En este sencillo ejemplo hemos podido ver cómo afecta el color de las lámparas (su apariencia en color) a la reproducción de los colores de los objetos (el rendimiento en color de las lámparas).

La apariencia en color de las lámparas viene determinada por su temperatura de color correlacionada. Se definen tres grados de apariencia según la tonalidad de la luz: luz fría para las que tienen un tono blanco azulado,

luz neutra para las que dan luz blanca y luz cálida para las que tienen un tono blanco rojizo.

A pesar de esto, la apariencia en color no basta para determinar qué sensaciones producirá una instalación a los usuarios. Por ejemplo, es posible hacer que una instalación con fluorescentes llegue a resultar agradable y una con lámparas cálidas desagradable aumentando el nivel de iluminación de la sala. El valor de la iluminancia determinará conjuntamente con la apariencia en color de las lámparas el aspecto final.

El rendimiento en color de las lámparas es una medida de la calidad de reproducción de los colores. Se mide con el Índice de Rendimiento del Color (IRC o Ra) que compara la reproducción de una muestra normalizada de colores iluminada con una lámpara con la misma muestra iluminada con una fuente de luz de referencia. Mientras más alto sea este valor mejor será la reproducción del color, aunque a costa de sacrificar la eficiencia y consumo energéticos.

Apariencia de color y rendimiento en color (CIE)

Ahora que ya conocemos la importancia de las lámparas en la reproducción de los colores de una instalación, nos queda ver otro aspecto no menos importante: la elección del color de suelos, paredes, techos y muebles.

Aunque la elección del color de estos elementos viene condicionada por aspectos estéticos y culturales básicamente, hay que tener en cuenta la repercusión que tiene el resultado final en el estado anímico de las personas.

Influencia del color en el ambiente

Los tonos fríos producen una sensación de tristeza y reducción del espacio, aunque también pueden causar una impresión de frescor que los hace muy adecuados para la decoración en climas cálidos. Los tonos cálidos son todo lo contrario. Se asocian a sensaciones de exaltación, alegría y amplitud

del espacio y dan un aspecto acogedor al ambiente que los convierte en los preferidos para los climas cálidos.

De todas maneras, a menudo la presencia de elementos fríos (bien sea la luz de las lámparas o el color de los objetos) en un ambiente cálido o viceversa ayudarán a hacer más agradable y/o neutro el resultado final.

Sistemas de alumbrado

Cuando una lámpara se enciende, el flujo emitido puede llegar a los objetos de la sala directamente o indirectamente por reflexión en paredes y techo. La cantidad de luz que llega directa o indirectamente determina los diferentes sistemas de iluminación con sus ventajas e inconvenientes.

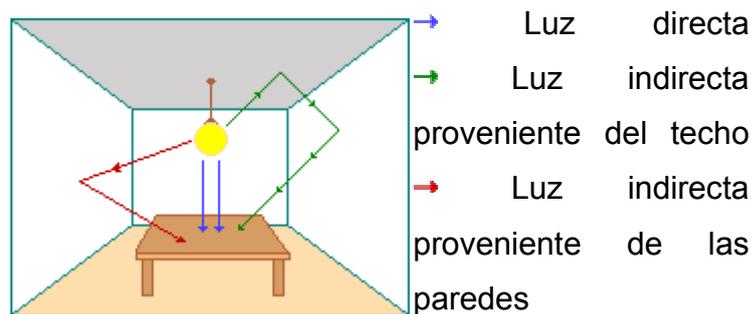


Figura 2. 6. Sistemas de alumbrado
(Fuente: Boix, Oriol; *Luminotecnia*)

La iluminación directa se produce cuando todo el flujo de las lámparas va dirigido hacia el suelo. Es el sistema más económico de iluminación y el que ofrece mayor rendimiento luminoso. Por contra, el riesgo de deslumbramiento directo es muy alto y produce sombras duras poco agradables para la vista. Se consigue utilizando luminarias directas.

En la iluminación semi-directa la mayor parte del flujo luminoso se dirige hacia el suelo y el resto es reflejado en techo y paredes. En este caso, las sombras son más suaves y el deslumbramiento menor que el anterior. Sólo es

recomendable para techos que no sean muy altos y sin claraboyas puesto que la luz dirigida hacia el techo se perdería por ellas.

Si el flujo se reparte al cincuenta por ciento entre procedencia directa e indirecta hablamos de iluminación difusa. El riesgo de deslumbramiento es bajo y no hay sombras, lo que le da un aspecto monótono a la sala y sin relieve a los objetos iluminados. Para evitar las pérdidas por absorción de la luz en techo y paredes es recomendable pintarlas con colores claros o mejor blancos.

Cuando la mayor parte del flujo proviene del techo y paredes tenemos la iluminación semi-indirecta. Debido a esto, las pérdidas de flujo por absorción son elevadas y los consumos de potencia eléctrica también, lo que hace imprescindible pintar con tonos claros o blancos. Por contra la luz es de buena calidad, produce muy pocos deslumbramientos y con sombras suaves que dan relieve a los objetos.

Por último tenemos el caso de la iluminación indirecta cuando casi toda la luz va al techo. Es la más parecida a la luz natural pero es una solución muy cara puesto que las pérdidas por absorción son muy elevadas. Por ello es imprescindible usar pinturas de colores blancos con reflectancias elevadas.

Métodos de alumbrado

Los métodos de alumbrado nos indican cómo se reparte la luz en las zonas iluminadas. Según el grado de uniformidad deseado, distinguiremos tres casos: alumbrado general, alumbrado general localizado y alumbrado localizado.

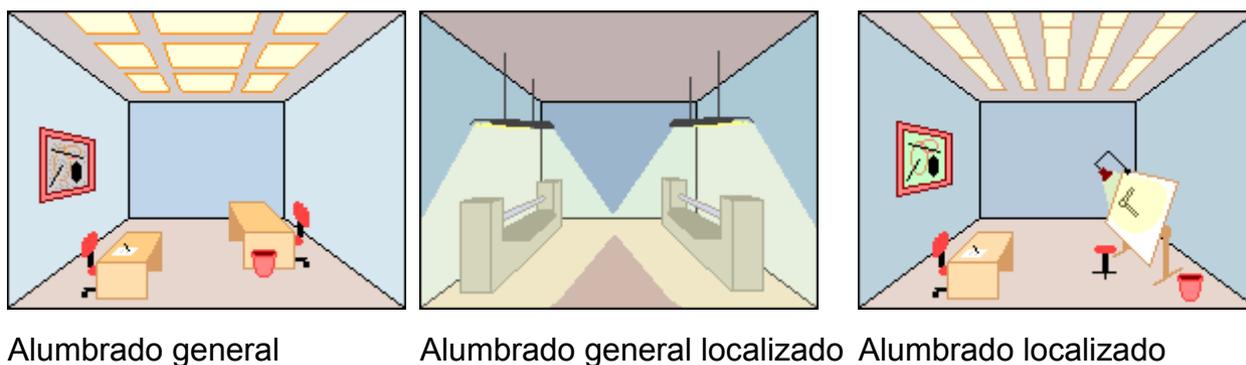


Figura 2. 7. Métodos de alumbrado
(Fuente: Boix, Oriol; *Luminotecnia*)

El alumbrado general proporciona una iluminación uniforme sobre toda el área iluminada. Es un método de iluminación muy extendido y se usa habitualmente en oficinas, centros de enseñanza, fábricas, comercios, etc. Se consigue distribuyendo las luminarias de forma regular por todo el techo del local.

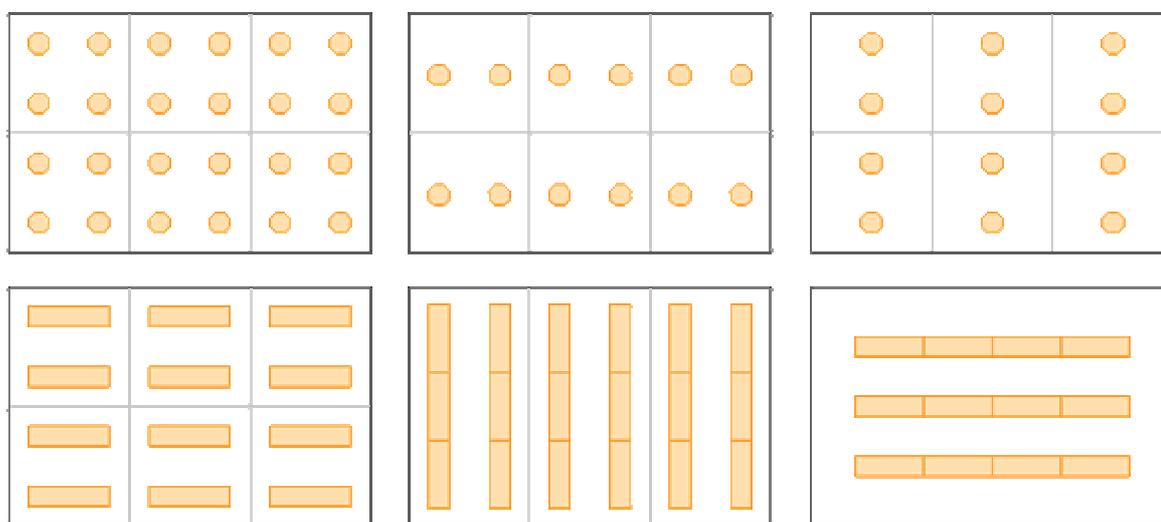


Figura 2. 8. Ejemplos de distribución de luminarias de alumbrado general
(Fuente: Boix, Oriol; *Luminotecnia*)

El alumbrado general localizado proporciona una distribución no uniforme de la luz de manera que esta se concentra sobre las áreas de trabajo. El resto del local, formado principalmente por las zonas de paso se ilumina con una luz más tenue. Se consiguen así importantes ahorros energéticos puesto

que la luz se concentra allá donde hace falta. Claro que esto presenta algunos inconvenientes respecto al alumbrado general. En primer lugar, si la diferencia de luminancias entre las zonas de trabajo y las de paso es muy grande se puede producir deslumbramiento molesto. El otro inconveniente es qué pasa si se cambian de sitio con frecuencia los puestos de trabajo; es evidente que si no podemos mover las luminarias tendremos un serio problema. Podemos conseguir este alumbrado concentrando las luminarias sobre las zonas de trabajo. Una alternativa es apagar selectivamente las luminarias en una instalación de alumbrado general.

Empleamos el alumbrado localizado cuando necesitamos una iluminación suplementaria cerca de la tarea visual para realizar un trabajo concreto. El ejemplo típico serían las lámparas de escritorio. Recurriremos a este método siempre que el nivel de iluminación requerido sea superior a 1000 lux., haya obstáculos que tapen la luz proveniente del alumbrado general, cuando no sea necesaria permanentemente o para personas con problemas visuales. Un aspecto que hay que cuidar cuando se emplean este método es que la relación entre las luminancias de la tarea visual y el fondo no sea muy elevada pues en caso contrario se podría producir deslumbramiento molesto.



Figura 2. 9. Relación entre el alumbrado general y el localizado
(Fuente: Boix, Oriol; *luminotecnia*)

Niveles de iluminación recomendados¹²

Los niveles de iluminación recomendados para un local dependen de las actividades que se vayan a realizar en él. En general podemos distinguir entre tareas con requerimientos luminosos mínimos, normales o exigentes.

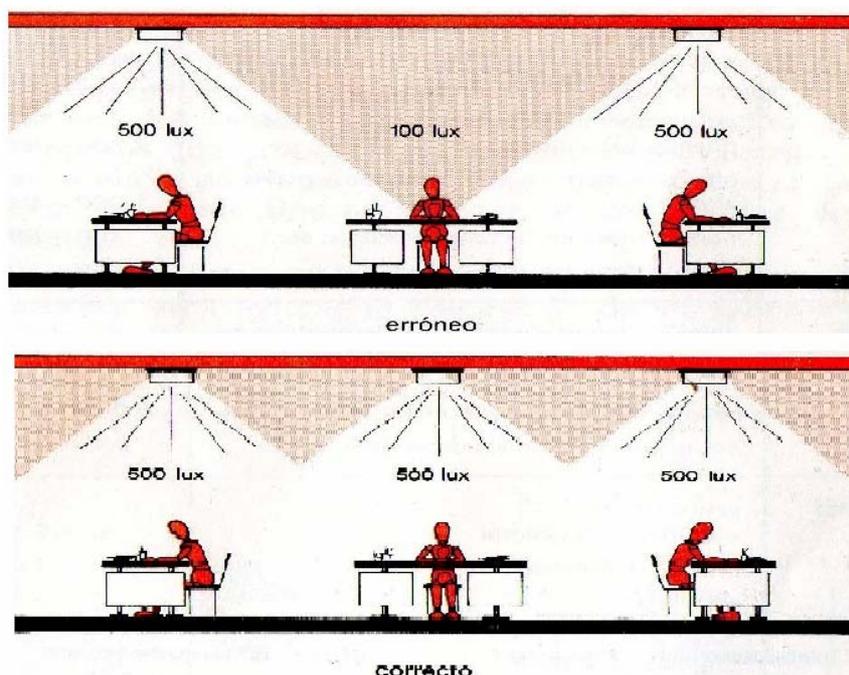


Figura 2. 10. Establecimiento de un buen nivel de iluminación.
(Fuente: RE, Vittorio, *Iluminación interna*)

En el primer caso estarían las zonas de paso (pasillos, vestíbulos, etc.) o los locales poco utilizados (almacenes, cuartos de maquinaria, etcétera) con iluminancias entre 50 y 200 lx. En el segundo caso tenemos las zonas de trabajo y otros locales de uso frecuente con iluminancias entre 200 y 1000 lx.

Por último están los lugares donde son necesarios niveles de iluminación muy elevados (más de 1000 lx) porque se realizan tareas visuales con un grado elevado de detalle que se puede conseguir con iluminación local.

¹² La elección del nivel de iluminación es fundamental para obtener una buena visión, sin embargo, no basta con establecer un buen nivel de iluminación de acuerdo con las exigencias del local, sino que se debe tratar de obtener una buena distribución de la luz.

Tres factores fundamentales son los que hay que tomar en consideración para obtener una iluminación racional:

1. Nivel de iluminación respecto de las características y destino del local (actividad desarrollada).
2. Tipo de iluminación (directa, semi-directa, semi-indirecta, indirecta).
3. Tipo de lámpara (tomando en consideración la eficiencia luminosa y el rendimiento cromático) y tipo de luminaria que conviene adoptar en relación a las exigencia fotométricas, coste de la instalación, condiciones de funcionamiento y posibilidad de llevar a cabo un mantenimiento racional.

Depreciación de la eficiencia luminosa y mantenimiento

El paso del tiempo provoca sobre las instalaciones de alumbrado una disminución progresiva en los niveles de iluminancia. Las causas de este problema se manifiestan de dos maneras. Por un lado tenemos el ensuciamiento de lámparas, luminarias y superficies donde se va depositando el polvo. Y por otro tenemos la depreciación del flujo de las lámparas.

En el primer caso la solución pasa por una limpieza periódica de lámparas y luminarias. Y en el segundo por establecer un programa de sustitución de las lámparas. Aunque a menudo se recurre a esperar a que fallen para cambiarlas, es recomendable hacer la sustitución por grupos o de toda la instalación a la vez según un programa de mantenimiento. De esta manera aseguraremos que los niveles de iluminancia real se mantengan dentro de los valores de diseño de la instalación.

2.4 Cálculo de las instalaciones de alumbrado

El cálculo de los niveles de iluminación de una instalación de alumbrado de interiores es bastante sencillo. A menudo nos bastará con obtener el valor

medio del alumbrado general usando el método de los lúmenes¹³. Para los casos en que requerimos una mayor precisión o necesitamos conocer los valores de las iluminancias en algunos puntos concretos como pasa en el alumbrado general localizado o el alumbrado localizado recurriremos al método del punto por punto.

¹³ Ver Anexo 6