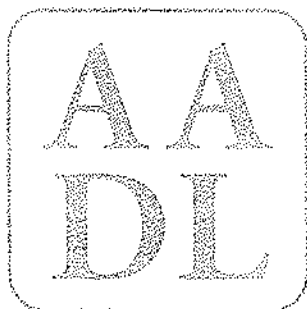




Asociación Argentina de Luminotecnia

ILUMINACION

LUZ
VISION
COMUNICACION

T O M O

1



Copyright - A.A.D.L
Asociación Argentina de Luminotecnia

Septiembre 2001
Impreso en Argentina
Imprenta VIC-NA • Rondeau 1651 (Ciudad Autónoma de Buenos Aires)

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de este libro puede ser reproducida, almacenada, traducida a otro lenguaje, en forma total o parcial, sin mencionar la fuente.

Asociación Argentina de Luminotecnia
Perú 552/56
Buenos Aires - Argentina
Tel. 4342-2372
E-mail: aaadiba@escape.com.ar
www.aadl.com.ar

Autores

Este libro ha sido editado por la Asociación Argentina de luminotecnia, con la colaboración de los siguientes profesionales de la luminotecnia.

Ing. Aiello Daniel
Ing. Allegue Hugo
Sr. Augé Jorge
Ing. Assaf Leonardo
Sr. Berkhan Ernesto
Ing. Biglieri Carlos
Ing. Mg. Cabello Alberto José
Dra. Colombo Elisa
Arq. Corral Walter Dario
Ing. Descheres Loic
Ing. Eder Juan
Ing. Estevez Mariano
Ing. Etcheverry Carlos
Arq. Evans John Martin
Ing. Guaspari Edgardo
Dr. Ing. Kirschbaum Carlos F.
Sr. Laszlo Carlos
Ing. Locicero Oscar
Arq. Massera Edgardo
Arq. Mattiello Maria L.F. de
Ing. Moressi Andres
Dr. Polatian Roberto
Ing. Reid Jorge Gordon
Dr. Ruiz Diaz Marcelo
Ing. Schmid Luis
Ing. Zecchi Marcos

Comite Editorial

Sr. Carlos Laszlo

Dra. Elisa Colombo

Arq. Edgardo Massera.

Producción Integral

Domus Publicidad

Editor Responsable

Oscar E. Parrado

Dirección Comercial

Cristina Romero

Diseño

Daniel A. Coronel

Diagramación

Lucas A. Arbelo

**ASOCIACION ARGENTINA
DE LUMINOTECNIA**

Consejo Directivo Nacional

Presidente: Sr. Carlos Laszlo

Vicepresidente: Ing. Leonardo Assaf

Secretario: Ing. Hugo Caivano

Tesorero: Ing. José Luis Ovcak

Prosecretario: Arq. Patricia Molaioli

Protesorero: Ing. Carlos Cigolotti

Vocales: Ing. Ramón Sepúlveda

Ing. Domingo Luna

Ing. Ricardo Casañas

Revisores de
cuentas: Ing. Mario Dell'Olio

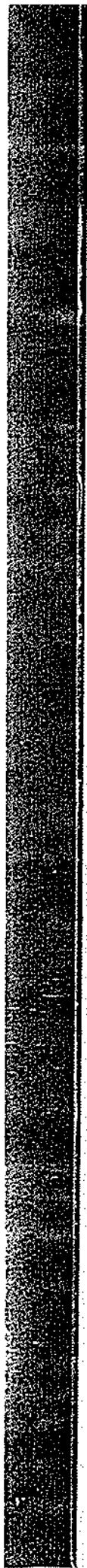
Ing. Claudio Guzmán

Septiembre 2001

Agradecimiento

La Asociación Argentina de Luminotecnia,
agradece a todas estas empresas que nos
acompañaron en este emprendimiento.

Artekrom
Artelum S.A.
Artemide
Atomlux
Beyma S.R.L.
Cambre I.C. y F.S.A.
Camimport S.R.L.
Ciardi Hnos.
Ciocca Plast
Dexel S.R.L.
Electro Tucuman S.A.
E.L.T. Argentina S.A. - Italavia
Facalu
Fiberlights S.R.L.
Gama - Sonic Argentina S.R.L.
Hugo Mainieri S.A.
I.E.P. Iluminación S.A.
Iluminación Lanin
Industrias Wamco S.A.
Ing. Marcos Zechi
Jeluz S.A.C.I.F.I.A.
Lafonier's S.A.
Lefkas
Lumenac S.A.
Luxram Argentina S.A.
Osram Argentina
Philips Argentina
S.C.I. S.A.
S.P. Iluminación
Strand S.A.
Sylvania Iluminación S.A.
Ticar S.R.L.
Vossloh-Schwabe Latinoamericana S.R.L.



INDICE

Colaboradores	5
Agradecimiento	7
Indice	9
Prólogo	11
 <i>Capítulo 1</i>	
Introducción a la historia de la luz	13
 <i>Capítulo 2</i>	
Fundamento de la luz	27
 <i>Capítulo 3</i>	
El color	49
 <i>Capítulo 4</i>	
Magnitudes colorimétricas	65
 <i>Capítulo 5</i>	
Factores humanos en iluminación	79
 <i>Capítulo 6</i>	
Iluminación natural	109
 <i>Capítulo 7</i>	
El proyecto	135
 <i>Capítulo 8</i>	
Iluminación de oficinas e instituciones	145
 <i>Capítulo 9</i>	
Iluminación industrial	159
 <i>Capítulo 10</i>	
Iluminación para el comercio	175
 <i>Capítulo 11</i>	
Iluminación residencial	191
 <i>Capítulo 12</i>	
Métodos de cálculo	215
 <i>Capítulo 13</i>	
Sistemas de iluminación pre-programables	229
 <i>Capítulo 14</i>	
Iluminación de estudios de TV	239
 <i>Capítulo 15</i>	
Proyectores	257
 <i>Capítulo 16</i>	
Iluminación de grandes áreas deportivas	263



PROLOGO

La luz y el color forman parte permanente de nuestra actividad y tienen una inmensa acción sobre nuestras pautas de comportamiento; la luz artificial acompañó al hombre desde que aprendió a controlar el fuego y fue su único recurso desde la noche de la historia hasta el fin del Siglo XIX, independientemente de la evolución de la fisiología y la óptica.

En solo 100 años, la capacidad de trabajo y la inteligencia aplicada a mejorar las condiciones de vida produce un inmenso desarrollo en la capacidad de generación y aplicación de la luz artificial. Así hoy vemos que la física de la visión, la capacidad de generar luz y el conocimiento y la técnica para aplicarla trabajan aunados para satisfacer nuestras necesidades.

Hoy, pasado el momento de gran expansión, frente a la revalorización de las necesidades del hombre, la evolución de los conceptos de la luminotecnia aplicada y la posibilidad de utilizar nuevas tecnologías, han puesto en evidencia las prioridades del momento: Uso Racional de la Energía y Eficiencia de las Instalaciones.

Nuevas fuentes de luz más eficaces, equipos complementarios de tecnología actual, y la revalorización del usuario hacen necesario la actualización de los conocimientos y la formulación de las nuevas teorías.

El texto que hoy presentamos se inscribe dentro de la continuidad de la tarea de difundir el conocimiento de la luminotecnia y propender a su desarrollo, presentando una nueva versión del tradicional Manual de Luminotecnia.

Incorporamos un capítulo dedicado al alumbrado natural, tomando en cuenta la necesaria consideración del mismo en combinación con el artificial, así como capítulos específicos referidos a la eficiencia de las instalaciones y los aspectos ambientales de las mismas.

Es un orgullo para la República Argentina contar con la idoneidad y la capacidad de quienes han colaborado en la preparación del presente Libro: distinguidos profesionales Independientes, docentes miembros del Instituto de Luminotecnia de la U.N. de Tucumán, investigadores del CONICET, docentes de la Universidad de Buenos Aires e integrantes de la Asociación Argentina de Luminotecnia.

Este hecho es un hito más, que nos convoca a empeñarnos en la continuidad de la tarea. Agradecemos finalmente a todas las empresas que con su ayuda han permitido esta primera edición.

Septiembre del 2001

El Comité Editor

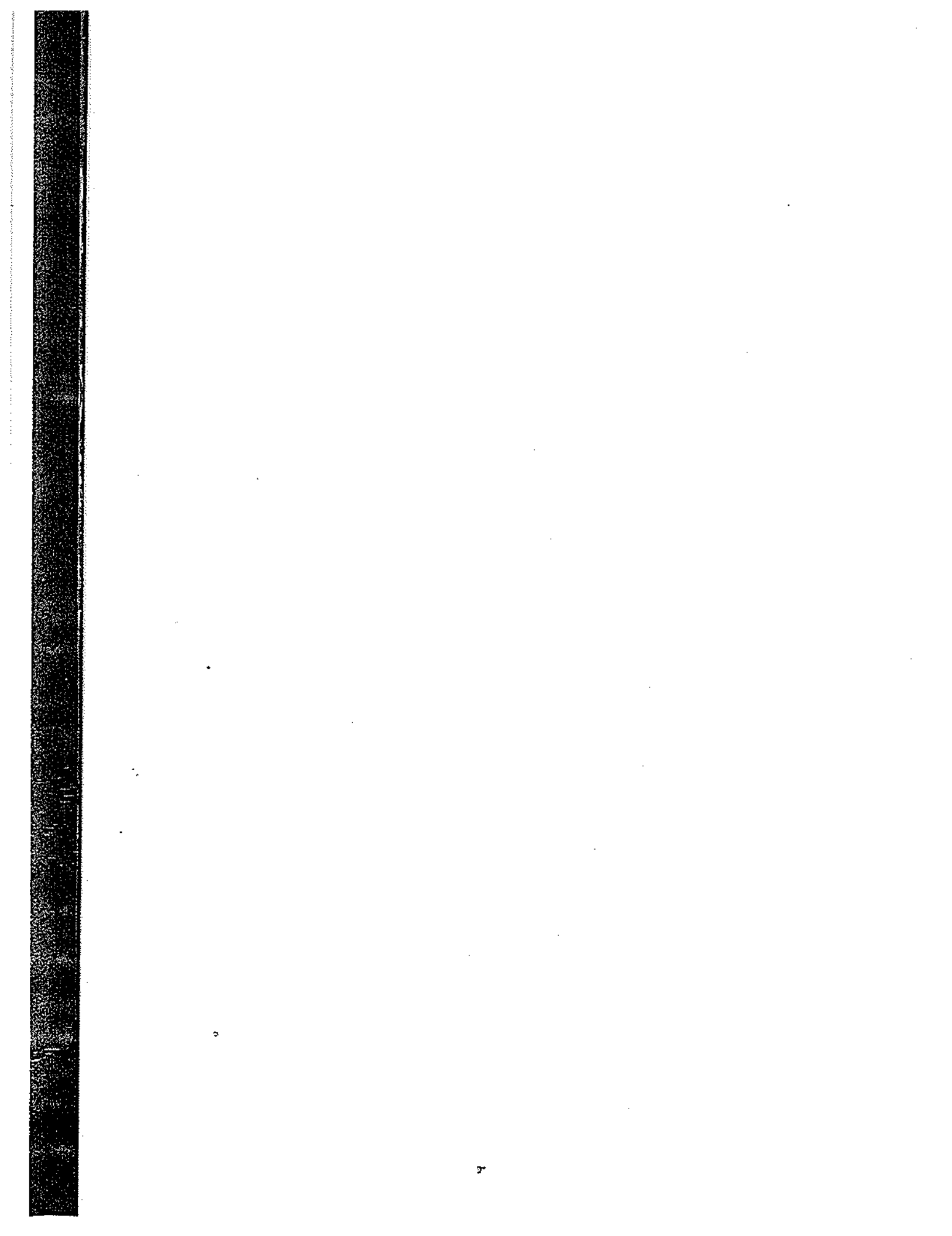


HISTORIA DE LA LUZ



CAPITULO

Autor: ...
/ Art. María E. de Madalena



**FIAT LUX.
ET FACTA EST LUX**
Genesis

Cualquiera sea la fe y la filosofía que se practique, no hay duda de la poesía que encierra esta frase del Génesis y de la importancia que se dio desde un comienzo a la luz.

Sin embargo, no debe olvidarse que ella tiene razón de ser porque hay sensores en la naturaleza que pueden captarla, entre los que se encuentra el sistema visual humano. Justamente por ello, las investigaciones en el área siempre tuvieron que ver con esta dualidad, y una prueba de ello es la distinción que en la antigüedad se hizo de las palabras lumen y lux. Esta historia, constituye la esencia del libro de Vasco Ronchi (1897-1988) *Storia de la luce* (1983), de ineludible referencia en toda historia de la ciencia. De este destacado investigador, que visitara la Argentina en la década del setenta y que liderara gran parte de la óptica del siglo XX, nos interesa rescatar parte de sus pensamientos por creerlos importantes para esclarecer la aventura que fue comprender que era la luz y la visión. Ronchi dice en una de sus obras refiriéndose al lux y al lumen:

Muchos no se interesan por el significado de las palabras porque piensan que es una inútil cuestión de términos; pero el hecho es que las palabras representan ideas y si estas son confusas, también lo son ellas. (Ronchi 1968:XL).

Recordando esta advertencia, hemos sugerido tratar este tópico como Introducción a este Manual, con el fin de aclarar términos que, por repetidos, se aceptan sin saber su origen.

**LOS GRIEGOS
ANTERIORES A
CRISTO**

Un punto de partida razonable para esta historia podría ser el siglo IV antes de Cristo. Para ese entonces, Aristóteles (384-322 a.C.) había dividido los sentidos en internos y externos. Los primeros correspondían al sentido común, imaginación, valoración y memoria, los externos a la visión, el oído, gusto, tacto y olfato. Aristóteles había señalado que en todos ellos, excepto en la visión, algún elemento hacía *contacto* con el órgano sensorial y que por lo tanto, las *acciones a distancia* no debían considerarse valederas.

Al finalizar la antigüedad grecorromana, se contaba con dos principales teorías, la del rayo visual y la de la emisión, para responder al enigma de como la visión capturaba un representación del mundo, que por momentos resultaba esquiva. El rayo visual fue concebido como bastones rectilíneos saliendo del ojo. Se pensaba que ellos serían capaces de explorar el mundo externo reportando al ojo la información que necesitaba para ver. La singularidad de la idea fue extraída de los ciegos que para conocer una forma la tocaban con sus manos o con su bastón. Esta concepción encontró un terreno muy favorable en los matemáticos, que la aplicaron con éxito al trazado de las sombras y más tarde de la perspectiva, dos disciplinas que prácticamente se han transmitido inalteradas hasta el presente.

Esta geometría, que hoy llamamos proyectiva, sirvió a Euclides (450-377 a.C.) para escribir sus dos libros sobre óptica y catóptrica, y a Tolomeo (127-151 d.C.) para sus estudios astronómicos y en particular para su libro de *Optica* en el cual desarrolló un cuidadoso estudio de los espejos esféricos. La teoría de la emisión, por el contrario, era difícil de comprender y sólo fue sostenida por las escuelas epicúreas. Ella afirmaba que la visión sería provocada por algo que emitían los cuerpos. Este algo o flujo penetraría por la pupila excitando al ojo y permitiendo en consecuencia ver.

Esta dos teorías fueron compatibilizadas más tarde por Platón (427-347 a.C.). El insistió, y fue aceptado por todos, en que los sentidos no eran mecanismos informativos perfectos y en consecuencia podían fallar. Así sostuvo, que el mundo aparente construido por la psiquis en base a la información que le llegaba a través de los sentidos, no daba garantía sobre lo que realmente se veía.

Platón trató de establecer una cierta jerarquía entre los sentidos más confiables, colocando en último término a la visión. La falta de fe en lo que se veía constituyó un dogma de la filosofía antigua haciéndose oficial una drástica sentencia: "no se puede hacer ciencia por medio de la vista. La visión debe ser controlada por el tacto".

Esta fue una conclusión grave para la ciencia experimental y la principal causa de que las investigaciones visuales se detuvieran. (Ronchi 1968:XIII)

Pero como el hombre necesitaba seguir conociendo y resolviendo los problemas cotidianos, apareció un nuevo grupo de personas que, no haciendo caso de los principios establecidos, se dedicaron a resolver problemas de índole práctica. El ambiente de los sabios y cultos de la academia miró a estos hombres como seres inferiores y los llamó artesanos. Así el siglo I antes y después de Cristo fue una época desdoblada en sus objetivos.

En el siglo II aparece Galeno (129-200). Su interés concreto fue la anatomía del ojo. El puso en evidencia la estructura sumamente compleja del mismo y su unión con el nervio óptico. También vislumbro que el ojo era solo una etapa del proceso visual. Pero, las vicisitudes del período histórico que siguió a la época de Galeno determinaron que este tipo de estudios se refugiara en Medio Oriente y, mientras que la filosofía y la ciencia occidental atravesaban una crisis profunda, floreció la actividad en el mundo islámico. En este período, dos personas son de destacar, Alkindi (813-873) y Alhazen (965-1039), ambos pertenecientes a la Escuela de Bagdad.

Alkindi trató especialmente el mecanismo de la visión y afirmó que el ojo era estimulado por rayos que provenían del medio externo. Alhazen revalorizó la teoría de la emisión y logró conciliarla con la de los rayos rectilíneos que postulaba Alkindi. También enunció dos reglas: "cada elemento de la superficie de un cuerpo luminoso o iluminado, emite imágenes elementales en todas direcciones", y "las imágenes elementales que emite un cuerpo grande, penetran en el ojo estimulando lo sensorio y siguiendo un orden idéntico al de la emisión".

Como puede apreciarse, había nacido el concepto de imagen retiniana y estaba en embrión el concepto de fase. El agente externo en el latín de la época fue denominado lumen, y el efecto que el lumen producía sobre la psiquis humana que permitía reconstruir un mundo aparente, lux. Alhazen estudió la naturaleza del lumen y reveló que su comportamiento era similar a los corpúsculos materiales tanto en la reflexión como en la refracción.

A él también se lo recuerda por sus observaciones a través de esferas y semiesferas de vidrio, y por su aparato para medir la reflexión y refracción de la luz. Se lo recuerda menos por sus estudios sobre las ilusiones ópticas que lo llevaron a definir aproximadamente 50 condiciones necesarias para que la visión resultara digna de fe y, como era poco probable que todas estas condiciones se cumplieran simultáneamente, también concluyó que la visión siempre presentaría errores.

La escuela árabe se conoció en occidente por un monje polaco del siglo XIII de nombre Witelo ó Vitellione. Su texto, que era una copia de los trabajos de Alhazen, fue impreso en 1533. En 1572, por interés de Pietro Ramus y por obra de Federico Risner, el manuscrito de Alhazen fue traducido y adjuntado al texto de Vitellione.

Sin embargo, estos libros fueron tomados con cierta frialdad en el ámbito de la cultura occidental. Los matemáticos, que naturalmente se nutrían de Euclides, continuaron sirviéndose de la teoría de los rayos visuales, y si bien debían aceptar que su teoría no se correspondía con la totalidad de los fenómenos visuales, sostenían correctamente que constituía un óptimo instrumento para el estudio de la perspectiva y el trazado de las sombras.

Lo cierto es que al finalizar este período histórico ya no quedaban dudas de que la visión tenía lugar por la acción del lumen sobre el ojo. El problema central era el lux, que consideraban de naturaleza divina. El lux fue objeto de discusión sobre todo para establecer si se trataba de una "sustancia" o "accidente", o simplemente era una "cualidad".

Para esa época, los interesados en el tema se agruparon en tres líneas bien definidas, sentando el carácter eminentemente interdisciplinario que caracterizaría de aquí en mas las investigaciones visuales. Estas líneas fueron: la propia de los matemáticos, que sostenían la teoría de los rayos visuales, la de la escuela árabe de carácter físico-fisiológico, y la netamente metafísica de la filosofía occidental del siglo XIII.

A esta altura de la historia, los físicos llegaron a la siguiente conclusión: los rayos solares iluminan los cuerpos (idea del lumen); con esto provocan la emisión de una "especie" de partículas que, según lo sostenido por Alhazen, penetran en el ojo permitiendo ver el mundo aparente (idea del lux). Si bien para la visión directa de un objeto pequeño sin campo circundante estas conclusiones podían satisfacer a los filósofos, las ideas se volvían confusas cuando los rayos provenían de objetos grandes, o eran interceptados por elementos ópticos. Los espejos en particular, constituían un misterio insoluble. Recordemos que para esa época los había planos, esféricos, cónicos, cilíndricos o de cualquier curvatura, y en ellos el mundo aparente se hacía mucho menos comprensible. Así, para muchos, la visión continuaba siendo un engaño.

LOS ARTESANOS OPTICOS

Un nuevo hecho destinado a tener consecuencias imprevisibles, apareció entre 1280 y 1285. Algunos artesanos, colocando delante de los ojos de personas ancianas discos de vidrio, mejoraban su visión. Como estos vidrios se asemejaban a las lentejas, se los denominó lentes de vidrio. La aplicación de las lentes a los presbíteros fue una casualidad, pues nadie sabía todavía que era la presbicia. Es notable el nombre vulgar asignado al descubrimiento lo cual revela su origen artesanal, no científico. Como bien hace notar Roñchi "*un catedrático nunca hubiera dado ese nombre a uno de sus descubrimientos*", y como los catedráticos no creían en los artesanos volvieron a decir: "*las lentes de vidrio son engañosas; no miren a través de las lentes si no quieren ser engañados*". Sin embargo, los artesanos que sabían graduárlas modificando su radio de curvatura, siguieron prestando un gran servicio a la comunidad y solo por ello no desaparecieron. El ostracismo de la ciencia respecto a las lentes duró tres siglos y finalmente su aceptación se debió a la intervención de Battista Della Porta (1535-1615), J. Kepler (1571-1630) y Galileo Galilei (1564-1642).

Della Porta dedica un capítulo entero de su *Magia Naturalis* a las lentes y dispositivos ópticos. Al año siguiente se construye el primer catalejo del cual se tenga información. En efecto, según un documento del holandés De Waard, el catalejo fue construido en Italia y llevado a Holanda en 1604, siendo reproducido por artesanos holandeses. En ese mismo año Kepler publica su *Paralipomena as Vitellionem*, que se convierte en la verdadera piedra fundamental de la historia de la óptica. En esta obra se encuentran las bases para la enseñanza de la óptica, incluido el ojo, casi tal cual como hasta ahora se enseña. En ella Kepler retoma la hipótesis de la óptica árabe según la cual, de cada punto de un cuerpo luminoso o iluminado y desde todas direcciones, llegan estimulaciones al ojo. Sin embargo, a pesar de considerar el tratamiento de la luz como rayos rectilíneos, estos ya nada tenían que ver con la antigua idea de rayos visuales provenientes del ojo, sino todo lo contrario. Kepler tampoco pensaba que la retina fuera el final del proceso visual, y por ello la consideró sólo un punto intermedio del largo recorrido que la información cumple hasta llegar a la corteza visual.

Por ello señaló que, para tener la clave del mecanismo visual, era necesario definir el proceso por el cual la psiquis capta del estímulo los elementos necesarios para representar el mundo aparente. Kepler no habló mucho más sobre luz y color, concentrando su atención en los cuerpos y en su posición en el espacio, problema que para ese entonces era de suma complejidad. Notó que la mayor dificultad para la psiquis no era sólo localizar la forma sino calcular la distancia a que estas se encontraban. Como en topografía las distancias se determinaban mediante triangulaciones, fue al encuentro del triángulo y lo encontró en el que tiene por vértice la fuente luminica y por base el diámetro pupilar. Observó que el cono de rayos que entra en el ojo debía tener, a partir de su base, una imagen simétrica e invertida, al igual de lo que ocurre si se interpone un espejo. También señaló que el segundo vértice estaría sobre la retina. Así explicó la imagen real y virtual que se forma en los espejos planos, y además la imagen retiniana. A partir de este momento, la regla de la triangulación de la distancia pasó a ser un artificio de valor inestimable para la óptica geométrica, ya que en un vértice se ubicaba la fuente luminica y en el otro la imagen retiniana, con lo cual toda referencia a la física de la luz y/o a la fisiología ocular podía omitirse.

En su libro dedica sólo dos hojas a las lentes, explicando porque estas corrigen la presbicia y la miopía. Esto lo hace por presión de un personaje de su ciudad, el príncipe Dietrichstein. Este hecho es un ejemplo del poco interés que todavía despertaban las lentes.

EL NACIMIENTO DEL HOMBRE MODERNO

En la primavera de 1609, fecha en que Ortega y Gasset ubica el nacimiento del hombre moderno y la rebelión de las ciencias mundanas frente al precedente imperio de la teología, Galileo (1564-1643) presta atención al catalejo. Considerando que podía ser un instrumento de valor para poder analizar las constelaciones estelares que en ese momento eran de su interés, comenzó a perfeccionarlo y por lo que él descubrió y por el entusiasmo con que defendía el instrumento, causó una revolución.

La intervención de Galileo se puede resumir en dos puntos. Con su nueva fe empírica, él demolió la terrible sentencia de la antigua filosofía: "no se puede hacer ciencia por medio de la vista". Con sus directivas dió inicio al perfeccionamiento de los instrumentos de observación destinados a potenciar la visión, mejorando la posibilidad de ver lo infinitamente grande y/o pequeño. Con la victoria clamorosa de la gran polémica de 1610 y luego con el aún más clamoroso proceso político, Galileo convirtió a la óptica en un campo de investigación de gran actualidad, rico en novedades, sorpresas y misterios.

Sin embargo, las doctrinas filosóficas seguían influyendo y había que demolerlas. Los nuevos ópticos no tenían argumentos para ello. Entonces usaron el potente medio del olvido: no hablaron más del mundo aparente. La regla del triángulo de la distancia sirvió magníficamente para ello. Debido a que, en base a la propia regla de la triangulación la psiquis debía localizar un punto luminoso en el vértice del cono de rayos que entran por la pupila, podía llamarse a dicho vértice "imagen" del punto objeto. Como consecuencia, para estudiar las imágenes, no era necesario hablar del ojo y mucho menos de la psiquis (Ronchi 1968: XXIX).

A partir de este momento, las imágenes adquirieron: 1) una existencia independiente del observador, y 2) características físicas:

Esta increíble deformación filosófica todavía hoy domina en algunos sectores. El hecho es que, sobre esta base se han llevado a cabo trabajos importantes que retrasaron nuevamente el estudio de la óptica. Los cultores de esta nueva óptica, para evitar una revisión que hubiera sido demoledora, sepultaron a Kepler y con él a la regla del cálculo de la distancia. Es un fenómeno histórico y filosófico muy interesante: toda la óptica está fundada sobre esta regla y nadie la discute. Que el ojo deba ver un punto luminoso en el vértice del cono de rayos que penetra por su pupila, es una verdad intuitiva que nadie discute. Pero en realidad esto no es cierto (Ronchi 1968: XXX).

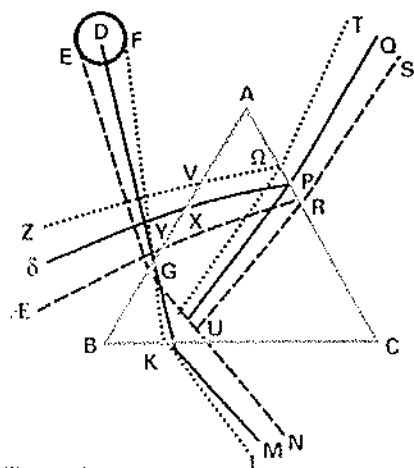


Figura 1
La refracción a través de un prisma de 60 grados. Dibujo extraído de *De Lumine* del padre Grimaldi. (Ronchi, 1983: 166).

Después de Kepler, el concepto de la escuela árabe de que la visión es el resultado de un lumen capaz de impresionar la retina y hasta producir dolor y post imagen, presentó un nuevo interés. Perdía significado la distinción entre el concepto de "rayo" y de "emisión", por ya no tener razón de ser. Se pensó que el lumen era un "quid" que se propagaba a lo largo del rayo geométrico. ¿Pero que era el quid? Así se volvió sobre el problema del lumen que fue tratado en dos obras: *Dioptrica* de Descartes (1596-1650) y *Los aspectos matemáticos de la luz* (1665) del jesuita Francisco María Grimaldi (1618-1663). Estas dos obras discuten la hipótesis corpuscular y además, en la del padre Grimaldi, pueden consultarse los primeros experimentos de obtención del color por medio de prismas **figura 1**.

También durante 1665, Robert Hooke (1635-1703) publica su *Micrografía*. Esta obra presentaba figuras vistas al microscopio y describía un fenómeno desconcertante: la coloración de láminas delgadas que se producía cuando se ponían casi en contacto dos laminas de vidrio transparente e incoloras. La coloración desaparecía si las láminas se acercaban o separaban demasiado.

LOS ESTUDIOS DE NEWTON

En este mismo año Newton (1642-1727) comienza sus estudios, posiblemente inspirado por los trabajos de Grimaldi y Hooke. Newton tuvo una idea genial: si el lumen fuese constituido por corpúsculos materiales, éstos debían favorecer la ley de atracción entre cuerpos materiales, ley que ya estaba bien definida. En consecuencia, al pasar la luz del externo al interno de un cuerpo material los corpúsculos serían afectados por la atracción que el cuerpo ejercía sobre ellos, y por ello desviarían su trayectoria. Un simple cálculo demostró que la desviación seguía la ley publicada por Descartes en *Dióptrica* (1638). La determinación de un mecanismo que explicara la refracción llevó a la fama al joven científico, tanto más porque él extrajo rápidamente una consecuencia muy interesante: admitiendo que los corpúsculos constituyeran el lumen, éstos tendrían masas diversas. Estas masas producirían distintas desviaciones cuando se acercaran a un mismo medio refringente donde no solamente se debía dar la refracción sino también la dispersión. En otras palabras, a un mismo haz incidente debía corresponder más de un haz refractado. Newton también consiguió recomponer el blanco, es decir volver para atrás la dispersión. En su libro *II de Optica* (1704), Newton vuelve sobre la experiencia de Hooke y agrega la interesante idea de realizar la experiencia con luz blanca y monocromática. También, la de utilizar en los experimentos superficies planas y/o esféricas. En estas condiciones experimentales, Newton observó que se formaban anillos concéntricos con respecto al punto de contacto de las dos láminas. Los anillos pasaban del violeta al rojo, siendo ocho o nueve para la luz blanca y muchos más para la luz monocromática, **figura 2**.

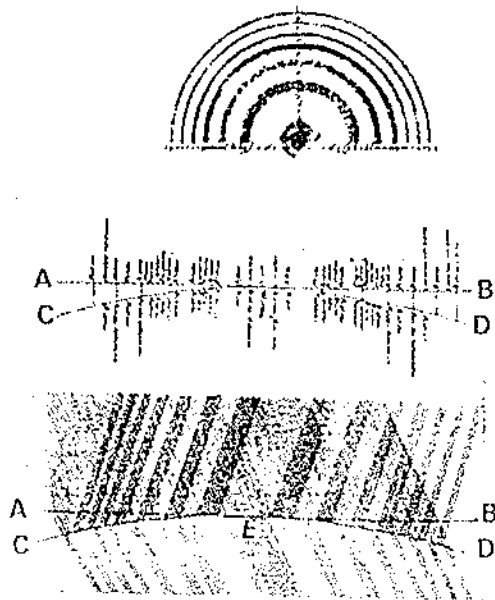


Figura 2
Dibujo extraído de *Optica*
de Newton (1704), donde
el autor representó y explica
los anillos.
(Ronchi 1983: 198).

Analizando lo que ocurría con la luz monocromática, Newton observó que se formaban anillos oscuros que separaban los anillos coloreados. Estos anillos se formaban donde el espesor de la lámina era múltiplo de un dado valor. También visualizó anillos mas claros que se daban cuando el espesor tenía un valor intermedio entre dos anillos oscuros. Por último calculó los espesores necesarios para cada color.

Estas observaciones indicaban claramente una periodicidad en el comportamiento de la luz. Pero el andamiaje que Newton había construido para su trabajo no le permitía aceptar un modo de propagación de la luz que explicara la difracción y por ello en su Definición III sólo dice: "Son rayos más o menos reflexibles, algunos se reflejan con mayor facilidad que otros". Nótese que igual fenómeno es descrito en el Libro III como una "inflexión del rayo de luz".

Una nota interesante a propósito de la visión se encuentra en las Preguntas XII y XIII. En ellas Newton especula si no debería pensarse que los corpúsculos que constituyen el lumen, al golpear el fondo del ojo (retina) producen una vibración que se propagaría a lo largo del nervio óptico

hasta el cerebro provocando las sensaciones visuales. Agrega que, rayos de diferente género deberían excitar vibraciones diferentes y que estas diferencias darían lugar a la visión cromática. Enseguida añade que, las vibraciones relativas a rayos de mayor refringencia (azul de 400nm) deberían ser cortas, y las relativas a rayos con menor refringencia (rojo de 700 nm) largas. Recordemos que Newton también se ocupó de la doble refracción, fenómeno observado en 1669 por Erasmo Bartholini (1625-1698). Este naturalista sueco notó que, cuando un haz de luz incide sobre las láminas de ciertas piedras calcáreas, este se dividía en dos haces: uno seguía la ley normal de la refracción mientras el otro un camino no conocido o una refracción extraordinaria (Bartholini 1669). Este fenómeno se correlacionó con otro anterior aún más desconcertante: cuando un haz incidía en un conjunto de láminas transparentes, gran parte las atravesaba pero otra parte se reflejaba en la primera y segunda capa de las láminas. Más tarde se supo que esto se debía a lo que hoy se denomina ángulo límite pero, como para ese entonces Newton no podía explicar estos fenómenos, los atribuyó a una propiedad congénita del rayo, que denominó refracción extraordinaria.

Resumiendo, la idea que Newton tenía de la luz era que ella estaba compuesta de corpúsculos pequeñísimos y veloces, que se propagaban según rayos rectos en cualquier medio que fuera homogéneo y transparente sin producir ninguna modificación a la materia ó a los rayos vecinos. Lo notable es que los experimentos llevados a cabo por Newton clamaban por una teoría ondulatoria que él se negó a admitir. También es justo reconocer que tanto Newton como el padre Grimaldi no se pronunciaron enfáticamente por la teoría corpuscular, quizás porque sentían que ella no podía explicar todos los pormenores de la luz. Conociendo ambos bien los fenómenos de la interferencia, la difracción y la doble refracción, sabían que la teoría corpuscular no alcanzaba para explicarlos. Esto fue señalado a Newton por sus contemporáneos, y no solo por Huygens sino sobre todo por Hooke, que era solo siete años mayor que Newton y en ese momento ocupaba la secretaría de la Royal Society de Londres.

Hasta ese momento el problema del lumen seguía interesando; la reflexión podía explicarse por una analogía mecánica con los cuerpos elásticos; ningún modelo mecánico podía explicar la refracción, que parecía un hecho rebelde.

EL CONCEPTO DE ONDA ELEMENTAL

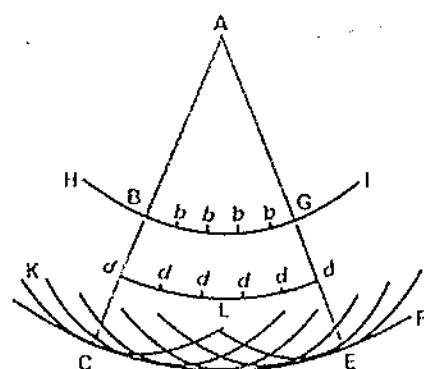


Figura 3
Esquema de Huygens explicando la envolvente de las ondas elementales. Dibujo extraído del *Traité de la lumière* (1690). (Ronchi 1983: 226).

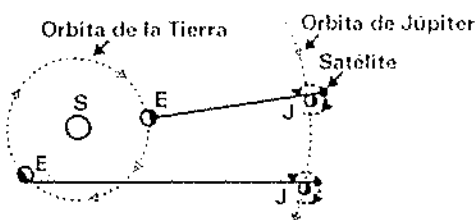


Figura 4
Método de Roemer para determinar la velocidad de la luz. (Sears, F., Zemansky, M. 1957: 750)

EL SIGLO XIX.

Una minoría de científicos siguió investigando estos fenómenos, y entre ellos debe destacarse al matemático francés Pierre Fermat (1601-1665). Él demostró, superando dificultades matemáticas no comunes para su tiempo, que el lumen recorre para pasar de un punto a

otro el camino que requiere el tiempo mínimo. Él llega a esta conclusión admitiendo que la velocidad de propagación del lumen es tanto menor cuanto mayor es la densidad del medio.

También conviene recordar que, ya desde un siglo antes en los laboratorios donde se discutía la naturaleza del lumen, se había definido el principio de onda elemental según el cual *cualquier punto de un medio que fuera alcanzado por una onda, se convertía a su vez en un centro de onda*. Este principio fue precisado por Huygens (1629-1695) quien agregó: cuando una onda llega al orificio de un diafragma, todos los puntos del orificio se convierten en centros de onda elemental; después del orificio ellas se transmiten en todas direcciones, en consecuencia ya no se cuenta con la propagación rectilínea de la onda que penetró por el orificio.

Para afianzar estas conclusiones, los sostenedores de la teoría ondulatoria tropezaron con la teoría de las sombras que era bien considerada y se valía de rayos de luz rectilíneos. Para salir del problema, Huygens (1690) agregó a su teoría de la onda elemental el concepto de onda eficaz. La onda eficaz era la suma de muchas ondas elementales débiles e ineficaces considerándolas individualmente, pero que originaban un solo frente de onda potente **figura 3**. Nótese que el concepto de rayo por segunda vez volvía a ser teórico, pero el frente de onda

comenzaba a ser una realidad. Hoy sabemos que cuando un frente de onda alcanza el ojo, esté o no presente el objeto, él se hará visible a nuestros ojos siendo este el fundamento de la holografía. Basándose en esta explicación Huygens explicó mecánicamente la propagación rectilínea de las ondas, la reflexión y la refracción, demostrando que se requería una velocidad de propagación menor en el cuerpo más refringente. Finalmente también explicó la doble refracción.

Para ese tiempo, Ole Roemer (1644-1710) obtiene el valor de la velocidad de la luz (lumen) analizando medidas astronómicas del eclipse de uno de los satélites de Júpiter, **figura 4**.

Esta historia se continúa recién en el siglo XIX y por lo tanto hay que esperar hasta entonces para obtener mayores resultados. Del lux no se habló más, el latín fue reemplazado por las lenguas vulgares, y del lumen y del lux se hizo una sola palabra que fue luz, que etimológicamente derivaba del lux. Todos los idiomas la adoptaron: luz, luce, lumière, light, licht y de esta confusión filosófica surgió la idea de medir la luz con medios y métodos físicos olvidando la necesaria intervención del ojo. Así nació una primera fotometría por obra de Pierre Bouguer (1698-1758), quien expone su fundamento en su famoso *Traité d'Optique* (1760), publicado dos años después de su muerte.

Por mérito de esta obra, Bouguer fue considerado en su tiempo el científico que después de Newton había obtenido mayores resultados en el estudio de las propiedades de la luz.

Él puso en evidencia algunos puntos escabrosos como el de la *dimensión cero* que refería a la igualación en intensidad que un observador puede realizar entre dos luces. Este método de medición por igualación, donde el observador no valora ninguna diferencia residual, se utiliza hasta el día de hoy y es también el adoptado por la colorimetría de principios del siglo XX hasta la fecha.

Para Ronchi, la obra de Bouguer tiene un interesante carácter filosófico que pone de manifiesto cuando dice:

Durante el siglo XVIII se produjo una lenta y progresiva transformación que alejaba cada vez más la mente de los científicos de los esquemas del pasado, llenándola de preconceitos falsos pero sustentados por evidencias indiscutibles (Ronchi, 1983: 248).

Así, el ambiente académico aceptó la teoría vertida en la obra de Bouguer sin mayor análisis, a pesar de la objeción de algunos. A comienzos del 1800 la idea de luz quedó establecida en la memoria de Etienne Malus (1775-1812): *Teoría de la doble refracción de la luz en las sustancias cristalinas* (1810), memoria que recibió un premio de la Academia de Francia en enero de 1810. En una parte del texto este autor dice:

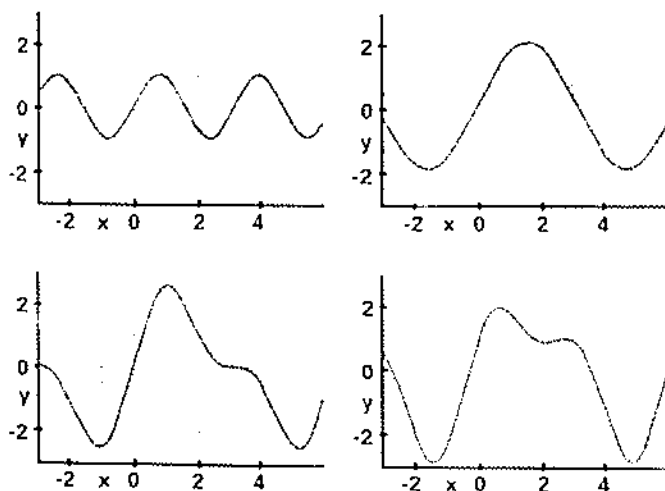
Los fenómenos ópticos tienen la ventaja particular de poder ser medidos con gran precisión por un pequeño número de leyes matemáticas. Estas leyes son independientes de las hipótesis que puedan establecerse sobre la naturaleza de la luz, porque ya sea que se suponga con Newton que ella consiste en un fluido enrarecido que se emite por todas las partes de un cuerpo luminoso, o que se suponga con Huygens que la luz es producida por la ondulación de un fluido (éter), el camino de rayos es siempre el mismo. Yo adopto en esta obra la opinión de Newton, no como una verdad indiscutible sino como un medio para fijar ideas y para interpretar las operaciones de análisis. Ello, por otra parte, no tiene influencia sobre los resultados del cálculo (Malus 1810: 255).

Como puede notarse, a pesar de ser Malus un seguidor de Newton, la teoría corpuscular no parece despertarle gran confianza. Pero las teorías de Huygens eran difíciles de comprender para aquellos años y parecían incompatibles con fenómenos químicos producidos por la luz. La teoría de la emisión resultaba más creíble y concordaba mejor con los conocimientos físicos del momento y con teorías anteriores como las que sustentaban el trazado de las sombras y la perspectiva.

Para entonces un joven médico, Thomas Young (1773-1829), enunció uno de los principios fundamentales de la propagación de las ondas, que denominó principio de interferencia. Young (1801/02) demostró que muchos fenómenos que se habían dejado de lado eran fáciles de explicar admitiendo que las radiaciones eran ondas que podían interferirse entre sí.

Young midió la frecuencia de las ondas y estableció una correlación entre dicha magnitud y los colores. Finalmente Agustín Fresnel (1788-1827), un joven ingeniero francés, se dedica al estudio de la difracción realizando cuidadosas mediciones mediante un micrómetro construido por un herrero de la zona. Fresnel consigue explicar, con toda precisión, los complicados fenómenos de la difracción completando así el principio de Huygens en base a un conocimiento más acabado de la cinemática de las ondas. El notó que no se podía hablar de interferencia de ondas como creía Huygens. Como había demostrado Young superponiendo dos ondas, observó que no siempre se obtienen sumas sino también diferencias, que podían alcanzar el cero, y que eran debidas a los corrimientos de fase, figura 5.

Figura 5
Esquema sobre la composición de ondas.
Arriba izquierda, función $y = \sin(2x)$; derecha, función $y = 2 \sin(x)$.
Abajo izquierda, función $y = 2 \sin(x) + 2 \sin(x)$; derecha, $y = 2 \sin(x) + \sin(2x + 1)$.



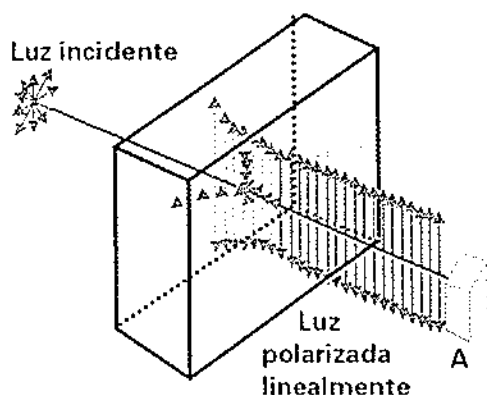


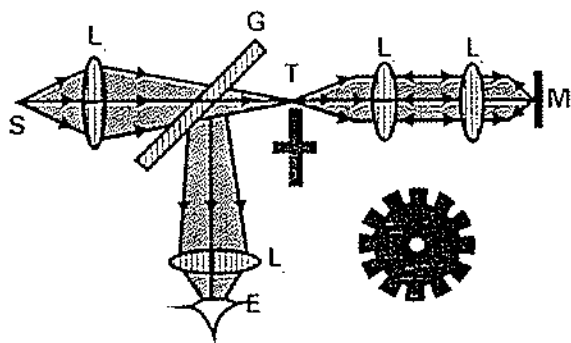
Figura 6
Luz polarizada linealmente por un cristal dicróico. Las vibraciones verticales son absorbidas parcialmente mientras que las horizontales son completamente absorbidas. A representa un segundo cristal o filtro polaroid que permite al rotar variar la intensidad de la luz además de comprobar su polarización. (Sears, F., Zemansky, M., 1957: 901).

Fresnel concluye que, por lo observado, convenia hablar de *integral* de ondas elementales. El encontró dichos integrales y además demostró que ellos estaban de acuerdo con resultados experimentales. Recordemos que las ondas de Fresnel eran consideradas de naturaleza elástica, y se suponía que se propagaban en un fluido misterioso denominado éter del cual nunca se definió sus características.

Fresnel publica sus ideas en una Memoria presentada a la Academia con motivo de un concurso llamado el 20 de abril de 1818 y que posteriormente gana al año siguiente. Por la importancia de su trabajo, esta fecha indica el fin de las ideas de Newton.

Hay que destacar que Fresnel tenía un gran dominio de los mecanismos ondulatorios y del comportamiento de las ondas en fenómenos de interferencia. Por ello, él se dio cuenta claramente que para que dos ondas interfirieran debían cumplir ciertos requisitos. Estos hoy se resumen como: de homogeneidad y coherencia, igualdad espectral, y constancia en la diferencia de fase. También Fresnel indicó que en la práctica, para obtener interferencias, debía trabajarse con una única fuente dividiendo el rayo en dos caminos ópticos diferentes, técnica básica de la holografía.

Cuando Fresnel, siguiendo con sus estudios, comenzó a experimentar con sustancias birrefringentes, constató que superponiendo haces emitidos por una misma fuente pero separados por un cristal en un haz ordinario y otro extraordinario, la interferencia no se producía aún variando los diferentes caminos ópticos. Por estos experimentos, él concluye que los haces diversamente polarizados no se influyen entre sí. Queriendo explicar este fenómeno, Fresnel llega a la conclusión que las ondas en el éter no pueden ser longitudinales sino transversales, descubriendo así la cualidad de polarización de la luz, **figura 6**.



Así como las vibraciones longitudinales poseían una simetría de revolución alrededor del rayo, aquellas transversales poseían una simetría con respecto a dos planos ortogonales pasantes por el rayo: el de la vibración y el perpendicular. Para que la teoría y práctica concordasen bastaba imaginar que el haz ordinario y el extraordinario estaban polarizados en dos planos perpendiculares entre sí. Esta concepción de onda transversal encontró una gran resistencia en el ambiente científico, ya que no se podía concebir un éter fluidísimo y sutil que poseyese al mismo tiempo las propiedades mecánicas de un sólido rígido.

Figura 7
Método de la rueda dentada de Fizeau para medir la velocidad de la luz. S es el manantial luminoso; L1 a L4 son lentes; T es la rueda dentada; M, es un espejo, y G, una lámina de vidrio. (Sears, F., Zemansky, M., 1957: 751).

Para ese entonces, León Foucault (1819-1868) y después Hipólito Fizeau (1819-1896) siguen realizando mediciones sobre la velocidad de las radiaciones en el ámbito terrestre, primero con el método de la rueda dentada, **figura 7**, y luego con el método del espejo rotante. En estas condiciones les fue posible medir la velocidad de la radiación dentro de largos tubos que contenían líquidos, encontrando que la velocidad de la luz era menor en los líquidos que en el aire.

Destaquemos que todas estas investigaciones consideraban una sola radiación, la que se conocía como luz. En los primeros años del siglo XIX, F.W. Herschel (1738-1833) descubre la existencia del infrarrojo, J.W. Ritter (1776-1810) y W.H. Wollaston (1766-1828) descubren las radiaciones ultravioletas abriendo así un campo de investigación interesantísimo que culmina con la síntesis que realiza James C. Maxwell (1831-1879) sobre las radiaciones.

En 1873 Maxwell avanza la hipótesis que las ondas capaces de estimular el ojo humano no difieren de otras que pueden obtenerse por vía electromagnética. En 1888 H. Hertz (1857-1894) confirma experimentalmente esta hipótesis empleando osciladores electromagnéticos y comprobando la reflexión, refracción, difracción, interferencia, y polarización, es decir las mismas leyes que se observaban con la luz.

En 1890 Max Planck (1858-1947) instaura el concepto cuántico de la energía luminosa y demuestra cómo, mediante el modelo cuántico de la luz, puede explicarse un conspicuo grupo de fenómenos que con el modelo ondulatorio clásico no se podía.

Así finaliza el siglo XIX considerado el período áureo de la teoría ondulatoria de las radiaciones.

QUE ES LA LUZ?

A pesar de los descubrimientos comentados, la medición de la luz continuó realizándose como lo había planteado Bouguer ignorándose que se trataba de una radiación electromagnética y que, como tal, debía ser analizada dentro del capítulo de las radiaciones. Ronchi se sorprende de ello y dice:

... El error es claro y la luz es una radiación, pero es que no se da cuenta de estas cosas... y es aún más notoria su comportamiento porque constituye un ejemplo admirable de la potencia de los preconcepciones aún en la búsqueda experimental que debería ser objetiva e impersonal. Es evidente que el propósito de medir la luz debió surgir de alguien que creyese que era una entidad mensurable olvidando que para ser mensurable debía ser objetiva y externa al observador (Ronchi 1983:289).

Lo cierto es que desde el tiempo de Bouguer se emplea el ojo humano -o en su defecto fotocélulas corregidas por su respuesta- y el método psicofísico de igualación que fue el único aceptado por los físicos ya que ellos sabían que cualquier otro arrojaría mayor error. Esta metodología obligó a determinar un observador e iluminantes patrones, lo cual tampoco era real. Ante estas circunstancias, la fotometría dejó las anomalías visuales en manos de los fisiólogos y oftalmólogos, y se conformaron con este observador patrón que nuevamente muy pocos objetan. No puede dejarse de ver en toda esta historia una gran habilidad para sortear obstáculos a fin de llegar a una fotometría y colorimetría aceptables que el común de las personas cree son mediciones físicas inobjetables !!

Ronchi cierra su libro preguntándose: ¿es correcto llamar luz a la manipulación que hace de ella la fotometría?. Nosotros agregamos ¿es color lo que mide la colorimetría?.

Para responder citemos nuevamente a Ronchi:

Finalmente ¿qué es la luz?. No considero que este nombre se pueda dar al agente externo, que se debería llamar radiación, tan, poco que sea verdadera luz la manipulación que la fotometría hace de la radiación al modificar ésta por la curva de sensibilidad del ojo. Quizás por ello sólo se pueda hablar de fantasmas dotados de un determinado brillo, color y saturación. No hay nada que fluya entre la psiquis y los fantasmas que pueda denominarse luz. Esta palabra solo significa ausencia de penumbra: como ya lo habían hecho notar los filósofos hace dos milenios. Por ello luz solamente significa que muestra mente no está inoperante y crea sus propios fantasmas, aún en sueños. (Ronchi 1983:307).*

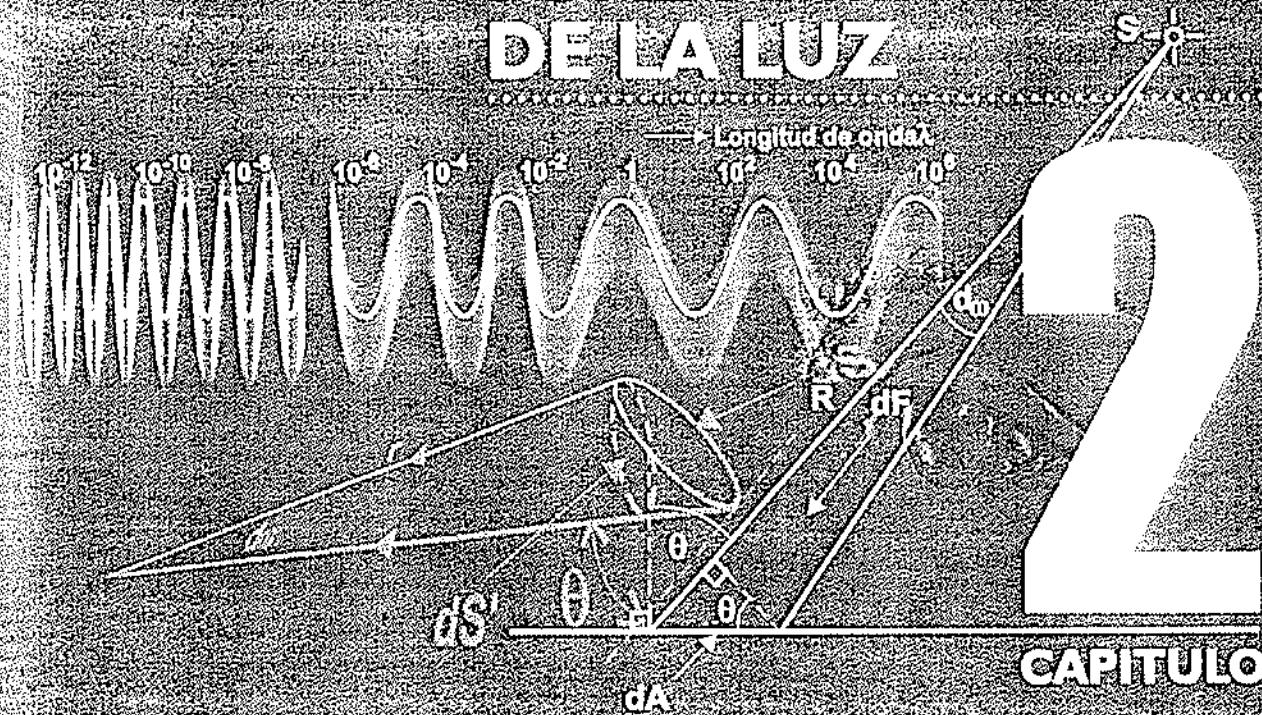
* Este término está usado en la acepción dada por la psiquiatría de la década del sesenta: Fantasmas, imágenes de la fantasía, imágenes psíquicas subjetivas que se distinguen de las alucinaciones porque en estas últimas el sujeto cree que se trata de realidades objetivas existentes en el mundo exterior, mientras que en las primeras sabe que son producto de la fantasía (Eck, 1966:291).

**CONSULTA
BIBLIOGRAFICA**

- Bartholin, E. 1669. *Experimenta crystalli islandia diadachastici quibus mira et insolita refractione detegitur*. Copenhagen.
- De Miguel, R. 1908. *Diccionario latino-español*. Madrid.
- Eck, M. 1966. *Los enfermos mentales y su tratamiento*. Barcelona, Herder.
- Geminelli, F.M. 1665. *Physicomathesis de lumine, coloribus et iride*. Bologna.
- Hooke, R. 1665. *Micrographia*. Londres.
- Huygens, C. 1690. *Tractatus de lumine*. En *Opera reliqua*, ed. Gravesande, vol. I. Amsterdam. Waesberg, 1728.
- Malus, E.L. 1810. *Théorie de la double refraction de la lumière dans les substances cristallisées*. Paris.
- Newton, I. 1740. *Optice*. Losanna, Ediciones Bousquet.
- Ortega y Gasset, J. 1947. *En torno a Galileo*. España, Revista de Occidente.
- Ronchi, V. 1968. *Scritti di ottica*. Milan, Edizioni il Polifilo.
1983. *Storia de la luce. Da Euclide a Einstein*. Bari, Laterza.
- Sears, F., Zemansky, M. 1957. *Física General*. Madrid, Aguilar.
- Wright, W.D. 1946. *Research on normal and defective colour vision*. Londres, Henry Kimpton.
- Young, T. 1801. "On the theory of light and colours". *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 12-48.
1802. "An account of some cases of the production of colours, not hitherto described". *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 387-397.

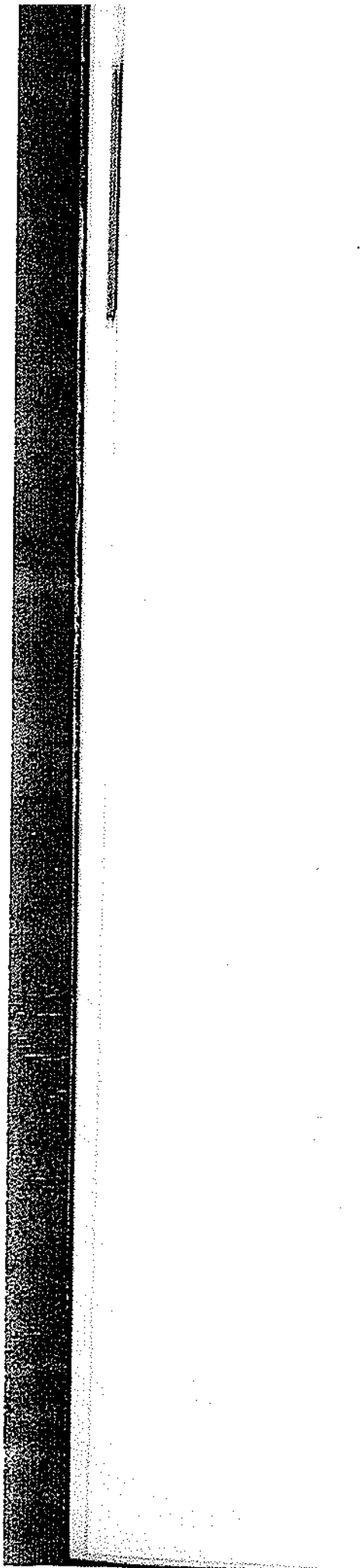


FUNDAMENTOS DE LA LUZ



CAPITULO

Autor:
Dra. Elisa Colombo



INTRODUCCION

Se define la luz como la energía radiante que es capaz de excitar la retina del ojo humano y producir, en consecuencia, una sensación visual, desencadenando el proceso de percepción visual. Por lo tanto, una comprensión completa de la luz implica no solamente el conocimiento de las leyes físicas sobre la naturaleza de la luz sino también la respuesta del ser humano. La energía radiante se puede originar en fuentes naturales o en las fuentes artificiales creadas por el hombre. La estrella más próxima a la tierra, el sol, es un gigantesco generador de energía radiante basada en reacciones termonucleares en las que se transforma hidrógeno en helio en forma continua, alcanzando una elevada temperatura que varía desde unos 6.000°C en la superficie visible hasta unos 40 millones de grados centígrados en su interior más oculto. Se supone que el sentido de la visión ha sido desarrollado en respuesta a la radiación del sol que durante millones de años ha llegado a nuestro planeta tierra. La energía radiante, y por lo tanto la luz, no requiere de un medio material para propagarse y puede viajar a través del vacío, es intangible y solamente cuando interactúa con la materia se puede percibir y medir cuantitativamente.

Teorías sobre la naturaleza de la luz

A lo largo de la historia distintas teorías tratan de explicar el comportamiento y la naturaleza de la luz.

La teoría corpuscular, enunciada por Newton (a ppios del s.XVII) está basada en tres premisas:

1. Los cuerpos luminosos emiten energía radiante en forma de partículas
2. Estas partículas se propagan en líneas rectas
3. Estas partículas actúan sobre la retina estimulando una respuesta que produce una sensación visual.

La teoría ondulatoria, enunciada por Huygens (a finales del s.XVII) está basada en las siguientes premisas:

1. La luz es el resultado de las vibraciones moleculares en el elemento luminoso
2. Las vibraciones son transmitidas en un medio llamado «éter» con movimiento ondulatorio en forma similar a las ondas en el agua
3. Estas vibraciones, así transmitidas, actúan sobre la retina estimulando una respuesta que produce la sensación visual.

La teoría electromagnética, propuesta por Maxwell (s.XIX) establece que:

1. Los cuerpos luminosos emiten luz en la forma de energía radiante
2. Esta energía radiante se propaga en forma de ondas electromagnéticas
3. Las ondas electromagnéticas actúan sobre la retina estimulando una respuesta que produce la sensación visual.

La teoría cuántica, es decir la formulación moderna de la teoría corpuscular, formulada por Planck (a ppios. del s.XX) se basa en dos premisas:

1. La energía es emitida y absorbida en cantidades discretas (fotones)
2. El valor energético de cada fotón está determinado por el producto de h y ν , donde h es $6,626 \times 10^{-34}$ J.s (la constante de Planck) y ν es la frecuencia de la vibración del fotón en Hz.

Por último, la teoría unificada propuesta por De Broglie y por Heisenberg (s. XX) está basada en las siguientes premisas:

1. Cada elemento de masa en movimiento tiene asociado una onda cuya longitud está dada por la ecuación:

$$\lambda = h / m v$$

donde λ es la longitud de onda asociado al movimiento de onda, h es la constante de Planck, m es la masa de la partícula y v es la velocidad de la partícula.

2. Es imposible determinar en forma simultánea todas las propiedades que caracterizan una onda o un corpúsculo.

Las teorías electromagnética y cuántica proveen una explicación de aquellas características de la energía radiante que son de interés al campo de la Ingeniería en Iluminación; en su naturaleza más íntima, la luz, como una onda o como un fotón, es radiación producida por procesos electrónicos que se producen en un cuerpo incandescente, en una descarga en un gas o en un dispositivo de estado sólido, cuando al pasar electrones excitados a posiciones más estables en sus átomos entregan energía.

Para explicar los procesos de emisión y absorción es necesario recurrir al modelo cuántico. Los experimentos han mostrado que cuando la luz (o cualquier otra forma de radiación electromagnética) es emitida o absorbida, están involucradas cantidades discretas de energía -fotón-. Un fotón de luz transporta una cantidad muy pequeña de energía. A una longitud de onda de 500 nm, en la región azul-verde del espectro, un solo fotón posee una energía de 4×10^{-19} J, o sea que la potencia de 1 W a esa longitud de onda es equivalente a $2,5 \times 10^{18}$ fotones por segundo.

A partir de la relación cuántica fue posible derivar teóricamente la distribución espectral continua de la radiación emitida por una *radiador total* o *cuerpo negro*, siendo este último definido como un cuerpo que absorbe completamente toda radiación que incide sobre él. Los sólidos incandescentes, como el tungsteno utilizado en filamentos de lámparas, dan una distribución espectral similar a la del cuerpo negro, pero con importantes diferencias. Las distribuciones espectrales discontinuas son observadas con gases excitados eléctricamente y son también explicables en términos de la teoría cuántica.

Para explicar fenómenos asociados al transporte de energía el modelo de onda electromagnético es suficiente, y en realidad la dualidad onda-corpúsculo es el modelo aceptado en la actualidad por la comunidad científica mundial.

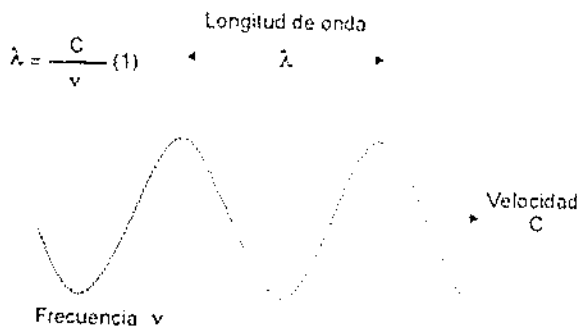


Figura 1
Representación esquemática de onda completa.

La luz y el espectro de energía

Toda forma de energía radiante se transmite en el vacío con la misma velocidad ($c = 299.793$ km/seg), sin embargo, difieren en longitud de onda (λ) y frecuencia (ν). La ecuación que relaciona las tres magnitudes es la siguiente:

$$c = \lambda \nu$$

En la *figura 1* se indica la longitud de onda sobre una representación simplificada de una forma de onda sinusoidal infinita de frecuencia ν .

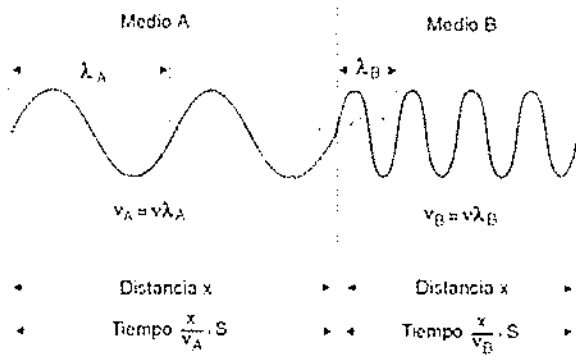


Figura 2
Diagrama donde se muestra como se modifica la longitud de onda de una onda al pasar de un medio a otro.

La longitud de onda y la velocidad pueden ser modificadas cuando la radiación se propaga a través de un medio material, sin embargo, la frecuencia permanece constante, independiente del medio, pues depende de la forma en que se originó la emisión, *figura 2*. Entonces es posible determinar la velocidad de la energía radiante (v) en términos del índice de refracción del medio (n):

$$v = v / n$$

Ambas teorías, la ondulatoria y la cuántica, permiten una representación de la energía radiante en una sucesión ordenada según la longitud de onda o la frecuencia. Este ordenamiento se llama **espectro**, *figura 3*.

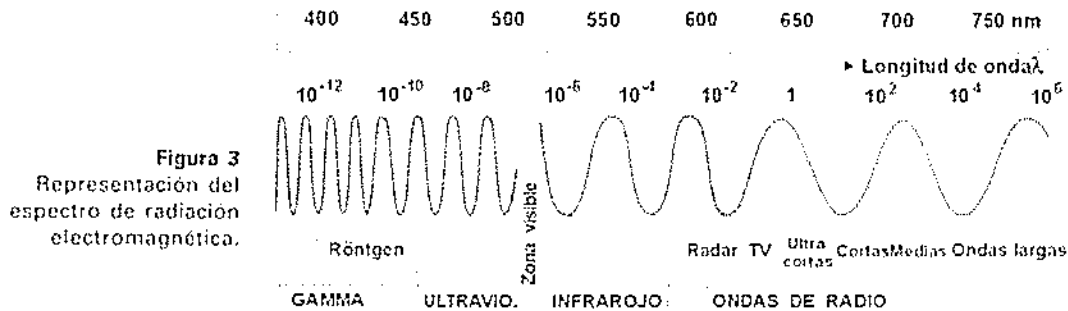


Figura 3
Representación del espectro de radiación electromagnética.

El espectro de energía radiante se extiende sobre un rango de longitudes de onda aproximado desde 10^{-16} hasta 10^5 m, que corresponde a un rango de 10^{22} hasta 10^4 Hz (ciclos/seg). En el extremo de las frecuencias más altas, de mayor energía están los rayos cósmicos, emitidos durante reacciones nucleares, que poseen longitudes de onda que son menores aún que las dimensiones atómicas. En el otro extremo, se encuentran las ondas largas, utilizadas para comunicaciones de radio, son longitudes de onda que van desde los kilómetros hasta unos pocos milímetros. Entre estos dos extremos están los rayos X, los UV, los visibles y los IR. En la región del visible del espectro las unidades más comúnmente usadas con el Angstrom ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$), el nanometro ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) y el micrómetro ($1 \text{ mm} = 10^{-6} \text{ m}$), aunque el nanometro es la unidad más utilizada.

Las tres regiones del espectro electromagnético que son de mayor importancia en el campo de la Ingeniería en Iluminación son el ultravioleta (UV), el visible y el infrarrojo (IR).

La radiación visible

La energía radiante en la parte visible del espectro cae entre dos longitudes de onda que varían ligeramente según la fuente bibliográfica consultada: 380-770 nm (IESNA, 1993), 380-780 nm (Coaton&Marsden, 1997), 380-760 nm (Boyce, 1981), por citar algunos ejemplos.

El ojo discrimina entre las distintas longitudes de onda en este rango por la sensación del color. El azul y el violeta corresponden a las longitudes de onda más cortas y el rojo a las más largas, estando en el medio el verde y el amarillo. Una radiación luminosa monocromática corresponde a una sola longitud de onda, lo que no es posible obtener en la práctica debido a que todas las fuentes luminosas producen luz cubriendo por lo menos una banda estrecha de longitudes de onda. El láser es la fuente de luz que con mayor aproximación emite radiación monocromática.

La radiación que llega a la superficie de la tierra desde el sol cubre un rango de longitudes de onda desde aproximadamente 290 nm hasta 1700 nm. Las longitudes de onda de la radiación solar menores a 290 nm (*ultravioleta*) son absorbidas por el ozono de los niveles superiores de la atmósfera terrestre y las longitudes mayores de 1700 nm sufren una fuerte absorción debido al vapor de agua y al dióxido de carbono en las capas más bajas (Coaton & Marsden, 1997). Estas características del filtrado de la atmósfera y la concepción de que el hombre procede evolutivamente de animales acuáticos, y bajo el agua se filtran rápidamente las longitudes de onda largas (*por encima de 780 nm*), podrían explicar la sensibilidad espectral del ojo humano.

La transmitancia del ojo varía con la longitud de onda y con la edad. En ojos jóvenes, la córnea absorbe la mayor parte de la energía más corta que los 300 nm, mientras el cristalino filtra efectivamente las longitudes de onda menores que 380 nm. La retina recibe radiación en el rango desde los 380 nm a los 950 nm aproximadamente, con poca atenuación. Para longitudes de onda mayores que 950 nm la transmitancia es variable, con mayor absorción en las bandas del infrarrojo cercano. Hay poca radiación infrarroja con longitudes de onda mayor a 1400 nm que llega a la retina, sin embargo, debido a la buena transmitancia del ojo a la radiación infrarroja, ésta es una radiación que puede ser peligrosa para la retina. Este es el motivo por el cual fuentes con una componente importante de radiación infrarroja, como por ejemplo el sol, no debe mirarse directamente.

En el rango del visible, la óptica del ojo transmite más luz a longitudes de onda largas, las rojas de un extremo, que las longitudes de onda cortas, las violetas del otro extremo. En promedio, un porcentaje entre el 70 y el 85% del espectro visible llega a la retina en el caso de ojos jóvenes (IESNA, 1993). Con la edad hay una reducción general en la transmitancia para todas las longitudes de onda combinada con una marcada reducción, cuatro veces mayor, en la transmitancia para longitudes de onda cortas, debido fundamentalmente a los cambios que sufre el cristalino.

La radiación ultravioleta

La radiación cuya longitud de onda es menor que la del violeta del espectro visible se conoce como radiación ultravioleta (UV). La CIE distingue tres rango espectrales:

UV - A	315 - 400 nm
UV - B	280 - 315 nm
UV - C	100 - 280 nm

Esta clasificación es la que frecuentemente utilizan los fotobiólogos. A pesar de que esta radiación no es percibida visualmente puede ser detectada fisiológicamente, si es suficientemente intensa, como una sensación de calor sobre la piel, demostrando que toda radiación se transforma en calor en el proceso de absorción, no solamente la radiación Infrarroja. Además, la radiación ultravioleta con longitudes de onda menores que 320 nm puede causar daño a los tejidos vivos. Estos efectos deben ser tenidos en cuenta ya que la luz natural y la luz de distintos tipos de fuentes artificiales están acompañadas de una apreciable cantidad de radiación ultravioleta. También se usan otras divisiones que tienen en cuenta sus campos de aplicación o los efectos que produce:

Produce ozono	180 - 220 nm
Bactericida (germicida)	220 - 300 nm
Produce eritema	280 - 320 nm
«Luz negra»	300 - 400 nm

La exposición a radiación ultravioleta de longitudes de onda más corta que 320 nm produce un enrojecimiento e inflamación de la piel humana -eritema-. A pesar de que una exposición moderada se puede utilizar con propósitos terapéuticos, una exposición prolongada puede producir resultados dolorosos e incluso peligrosos. El tejido conjuntivo del ojo es particularmente sensible a este tipo de radiación por lo que se sugiere utilizar anteojos de protección cuando existe posibilidad de exposición de los ojos a esa radiación.

Para longitudes de onda menores que 300 nm aproximadamente la radiación tiene un efecto letal sobre los microorganismos, siendo máxima la eficacia bactericida alrededor de los 260 nm, dependiendo este valor del tipo de organismo involucrado. Una descarga eléctrica en vapor de mercurio a baja presión produce una radiación muy intensa de longitud de onda 253,7 nm, y por su proximidad al máximo de la eficacia bactericida este tipo de fuente es frecuentemente utilizada para propósitos bactericidas (germicidas).

La región de "luz negra" se extiende ligeramente dentro de la región visible.

Radiación Infrarroja

Para fines prácticos se considera a la energía radiante en el IR dentro del rango de 770/780 a 10^5 nm, justo para longitudes de onda por encima de las correspondientes a la luz roja del final del espectro visible. Igual que la radiación ultravioleta no es perceptible al ojo pero puede ser detectada fisiológicamente produciendo una sensación de calor.

La parte cercana del espectro infrarrojo está presente en la luz natural y en fuentes artificiales, en las cuales conduce a una pérdida de eficacia luminosa pues aparece como calor no deseado. La CIE distingue las regiones de longitud de onda de más interés según la siguiente clasificación:

IR - A	780 nm a $1,4 \mu\text{m}$
IR - B	$1,4 \mu\text{m}$ a $3 \mu\text{m}$
IR - C	$3 \mu\text{m}$ a 1 mm

Fenómenos asociados a la propagación de la luz

Leyes de la reflexión y refracción de la luz

La luz se propaga en línea recta en un medio homogéneo con una velocidad menor a la velocidad en el vacío según un factor definido como índice de refracción del medio. La longitud de onda de la luz en el aire es sólo ligeramente menor que en el vacío pues el índice de refracción del aire es próximo a la unidad.

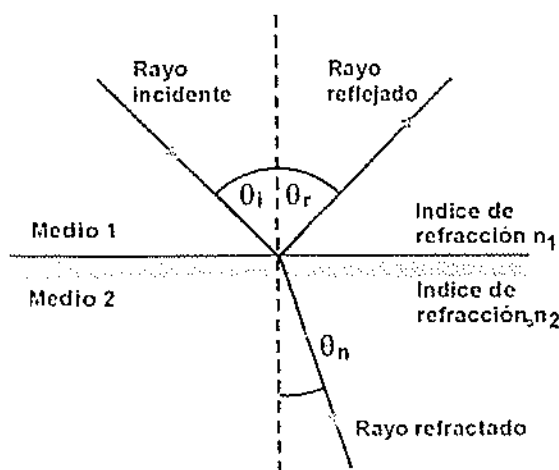
Cuando la luz incide en la interfase entre dos medios que poseen índices de refracción distintos, una parte de la radiación se refleja en el primer medio y otra parte se transmite dentro del segundo, sufriendo una desviación de su dirección original, es decir se refracta, figura 4.

El rayo incidente y el reflejado, así como la dirección perpendicular a la superficie límite en el punto de incidencia, se encuentran en el mismo plano; el ángulo que forma el rayo reflejado con la normal (θ_r) es igual al que forma el de incidencia (θ_i):

$$\theta_i = \theta_r$$

Cuando la superficie de incidencia es pulida comparada con la longitud de onda de la luz incidente se obtiene reflexión especular, es decir, un solo rayo incidente produce un único rayo reflejado.

Figura 4
Reflexión y refracción de la luz al incidir en la interfase entre dos medios.



El porcentaje de energía que transporta el rayo reflejado depende, entre otras cosas, de la relación de los índices de refracción de los dos medios y del ángulo de incidencia. Cuando el ángulo de incidencia se aproxima a los 90° la proporción de luz reflejada se acerca al 100%.

Con relación al fenómeno de refracción el rayo incidente, el refractado y la normal a la superficie en el punto de incidencia se encuentran en el mismo plano. Además, si el rayo incidente se encuentra en un medio de índice n_1 y el rayo refractado en otro medio de índice n_2 , la relación de ángulos es la que se expresa en la ecuación siguiente:

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_r$$

que se conoce con el nombre de Ley de Snell.

La ley de la refracción es válida para la mayoría de los materiales más comunes, como vidrios, plásticos transparentes y líquidos, pero en el caso de ciertos cristales y sólidos transparentes bajo tensión esta ley no se aplica exactamente pues se presentan otro tipo de efectos cuya discusión escapa a los alcances de este texto.

Reflexión total

Si se considera la incidencia de un haz de luz desde un medio de mayor índice de refracción

a otro de menor índice, como sería el caso de radiación luminosa que pasa de vidrio a aire, existe un ángulo de incidencia límite por encima del cual la luz incidente no pasa al otro medio sino que se refleja totalmente. Este ángulo se llama ángulo crítico o de reflexión total, **figura 5**. El valor de este ángulo puede determinarse de la siguiente ecuación:

$$\sin \theta_c = (n_2 / n_1) \sin 90^\circ$$

para un vidrio de $n_2 = 1,5$ entonces $\theta_c = 41^\circ 49'$

Este fenómeno se utiliza cuando se pretende una reflexión eficiente evitando la pérdida de energía por refracción. Uno de las aplicaciones más importante es la fibra óptica en la cual la luz se conduce a través de un medio o conector que

puede curvarse si es necesario. También se utiliza en prismáticos binoculares, signos reflectivos y luminarias.

Dispersión

El fenómeno de dispersión da cuenta de la variación del índice de refracción con la frecuencia de la radiación incidente. Para la mayoría de los materiales comunes el índice de refracción aumenta con la frecuencia, como puede verse cuando luz blanca atraviesa un prisma con la aparición del espectro, **figura 6**.

Este efecto es el que permite estudiar la composición espectral de las distintas fuentes luminosas utilizando instrumentos apropiados que constan de un prisma dispersor o de una red de difracción cuyo efecto también depende de la longitud de onda. También es utilizado con fines artísticos.

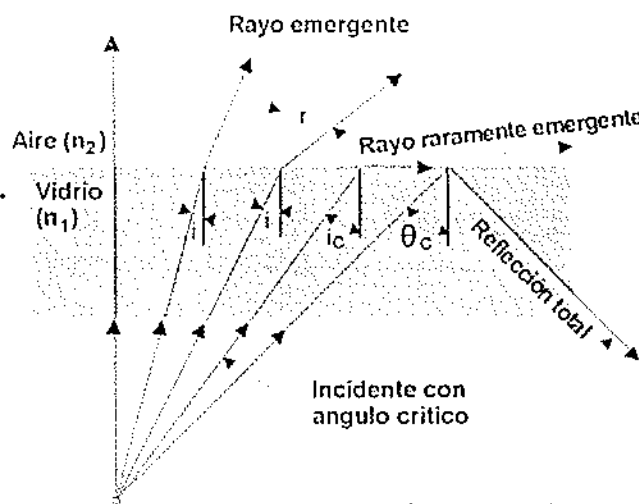


Figura 5
Reflexión total.

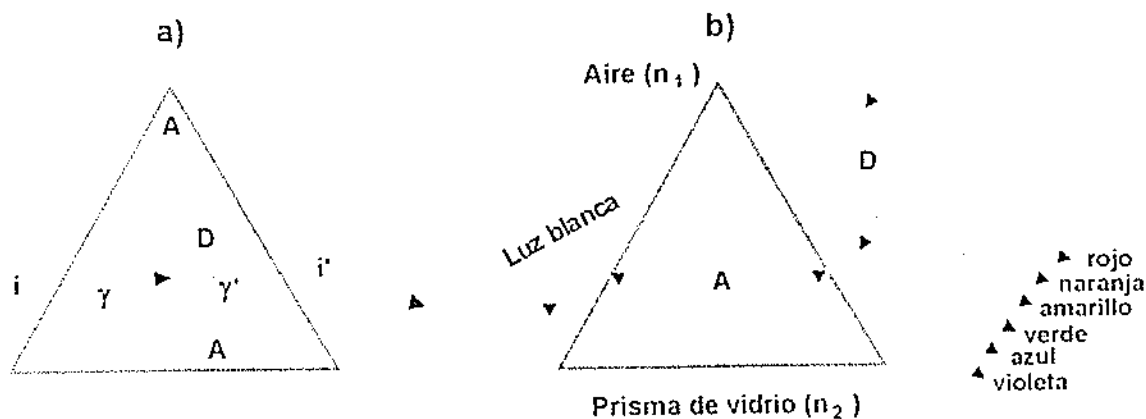


Figura 6
Obtención del espectro
cuando un haz de luz blanca
pasa a través de un prisma.

Absorción y difusión

La radiación luminosa no sufre pérdidas de energía a medida que se propaga en el vacío a pesar de que el haz de luz va abriéndose a medida que avanza, por el contrario sufre pérdidas de energía a través de un medio material debido a dos efectos, la absorción y el redireccionamiento de la luz respecto de su dirección original -en inglés «scattering» o «diffusion»-.

Cuando un rayo de luz atraviesa un medio material se produce absorción que es la conversión de la energía luminosa en otra forma de energía, generalmente, en energía calórica, pero puede ocurrir que cambie hacia una radiación de otra longitud de onda, lo que se llama fluorescencia, o se transforme en energía eléctrica, como ocurre cuando incide en una célula fotoeléctrica, o en energía química, fenómeno responsable del proceso de fotosíntesis de las plantas. Cuando un haz de rayos paralelos de una particular longitud de onda atraviesa un medio homogéneo, la pérdida de intensidad sigue una ley exponencial de la forma:

$$I = I_0 \exp (- \alpha x)$$

donde I_0 es la intensidad del haz inicial, I es la intensidad del haz después de viajar una distancia x en el medio, y α es el coeficiente de absorción lineal del medio que generalmente depende de la longitud de onda.

Los valores del coeficiente de absorción y su dependencia con la longitud de onda permiten clasificar los materiales. Para materiales altamente transparentes α es muy pequeño y en ese caso I solamente difiere de I_0 para valores de x muy grandes. En cambio, para materiales opacos, α es muy grande para todas las longitudes de onda, de tal forma que I se vuelve virtualmente cero en distancias muy cortas; tales materiales son opacos a la luz excepto en capas muy delgadas, como por ejemplo los metales.

En algunos materiales el proceso de absorción depende de la longitud de onda del espectro visible de manera que estos materiales cambian la distribución espectral de la luz que los atraviesa constituyendo el fundamento de los filtros de colores. Prácticamente todos los objetos coloreados deben su color a sus características de absorción selectiva en alguna parte del espectro visible con reflexión y transmisión en otra parte del espectro. También puede verse un medio coloreado por efectos de difracción que es un fenómeno que depende de la longitud de onda. Más adelante se vuelve sobre el concepto de difracción.

Además, cuando la luz incide en un medio no homogéneo se produce un efecto de esparcimiento de la luz debido a múltiples reflexiones y refracciones en las superficies

límites, orientadas aleatoriamente, dentro del medio. Esto ocurre debido a la presencia de partículas cristalinas microscópicas, gotitas o burbujas en un medio transparente, o irregularidades microscópicas de una superficie reflectora, siendo en este caso la radiación redirigida hacia atrás, en algunos casos casi sin pérdida por absorción. La niebla y las nubes son ejemplo de condiciones que producen este proceso de difusión en el aire debido a la presencia de gotitas de agua suspendidas, y las superficies blancas, de papel o tela, que consisten en fibras densamente empaquetadas y casi transparentes, son ejemplos de radiación esparcida hacia atrás de la dirección original de propagación. Cuando la luz es fuertemente absorbida en superficies difusoras tales como partículas de carbón en humo oscuro, un porcentaje muy bajo de la luz incidente esparcida atraviesa el medio, lo que lleva a que el medio luzca negro.

Todos los medios materiales producen cierto esparcimiento de la luz debido a la estructura molecular de la materia, que depende del tipo de interacción en juego. Cuando la luz encuentra obstáculos materiales cuyas dimensiones geométricas son mucho más grandes que la longitud de onda, se produce un redireccionamiento de la radiación en todas direcciones, incluso puede ocurrir en el proceso de la reflexión. En estos casos el modelo de la Óptica Geométrica es suficiente para el tratamiento de los problemas. Cuando las dimensiones involucradas son del orden de la longitud de onda se producen los fenómenos de interferencia y difracción y el modelo ondulatorio de la Óptica permite resultados con alta precisión. Pero es posible observar aún otros efectos debido a obstáculos aún más pequeños, mucho más pequeños que la longitud de onda de la luz visible. En estos casos la radiación luminosa incidente es capaz de excitar cargas eléctricas en el medio sobre el que incide de manera que, dependiendo de la relación entre la frecuencia de excitación y la fundamental, las partículas cargadas son capaces de emitir en todas las direcciones, produciéndose también un fenómeno de esparcimiento. Cuánto mayor es la frecuencia de la luz incidente, es decir para las longitudes de onda más cortas, mayor es la cantidad de luz esparcida. Este fenómeno se denomina "Difusión de Rayleigh", en inglés "Rayleigh Scattering". Las moléculas que constituyen el aire son responsables de este tipo de fenómeno, aunque más precisamente deberíamos decir que son las fluctuaciones de la densidad del aire las responsables de este fenómeno. Este es el motivo por el cual podemos "ver" los rayos en un atardecer por ejemplo, imagen que puede ser registrada por una cámara fotográfica.

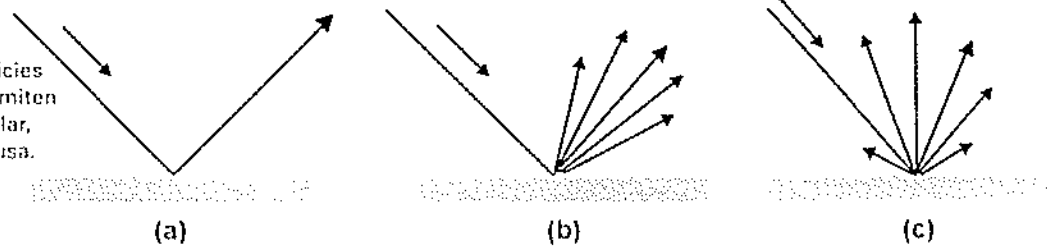
Sin este efecto la luz pasaría a través del aire de la misma forma que lo hace en el vacío, de manera que sería invisible para nosotros, y también para la cámara. Este fenómeno es selectivo no solamente a la longitud de onda, la luz de cierta longitud de onda es más desviada que la luz de otra longitud de onda, sino también del estado de polarización de la radiación, aunque el ojo no es sensible a la polarización de la luz. Este fenómeno explica el color azul del cielo, el cual es responsable de la polarización parcial de la luz que recibimos del sol. En secciones siguientes se explica el concepto de polarización de la luz.

Reflexión y transmisión difusa

Como ya se dijo, cuando un rayo luminoso incide sobre una superficie que posee irregularidades comparables o mayores que la longitud de onda de la luz, la energía luminosa se distribuye en todas las direcciones respecto de la dirección de incidencia, en el mismo sentido que el haz incidente, en el caso de la componente transmitida -transmisión difusa-, o en sentido contrario, en el caso de la componente reflejada -reflexión difusa-. En general, la distribución angular precisa de la luz reflejada y transmitida depende del ángulo de incidencia del rayo con la superficie y de la naturaleza de la rugosidad de la superficie, *figura 7*.

Es verdaderamente raro obtener una difusión perfecta, ya sea por reflexión o por transmisión, sin embargo muchas veces se hace esta suposición para simplificar los cálculos y a menudo se utiliza el concepto de difusor uniforme. Un reflector difusor uniforme es tal que la distribución de la luz reflejada es independiente del ángulo de la luz incidente, y la intensidad de la luz reflejada en una dirección que forma un ángulo θ con la perpendicular a la superficie es proporcional al $\cos \theta$.

Figura 7
Ejemplos de superficies que reflejan o transmiten en (a) forma especular, (b) abierta y, (c) difusa.



Esta ley del coseno se puede aplicar también a la transmisión uniforme difusa. Ninguna superficie real satisface completamente las condiciones de un difusor uniforme, pero algunas superficies pueden considerarse como tales con muy buena aproximación. Un ejemplo es una capa de polvo de óxido de magnesio.

Polarización

Las vibraciones de los campos eléctricos y magnéticos de una onda electromagnética son perpendiculares a la dirección de propagación. La mayoría de las fuentes luminosas emiten

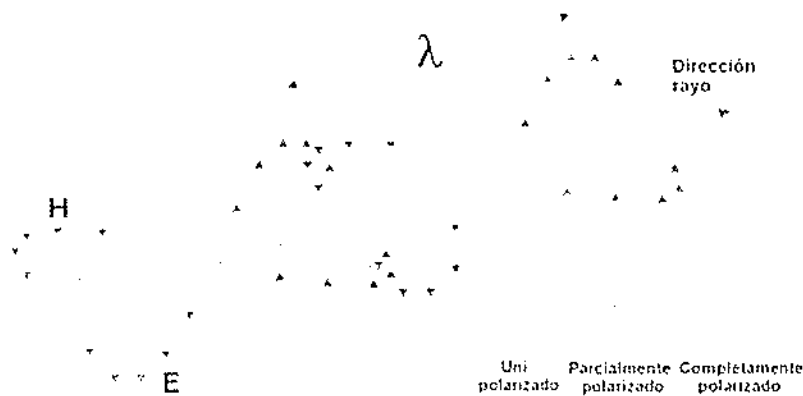
ondas que poseen planos de polarización orientados aleatoriamente -luz no polarizada-. Una onda linealmente polarizada es aquella en la cual el campo eléctrico, y por lo tanto el campo magnético, vibra en un único plano determinado por la dirección del campo y la dirección de propagación -plano de polarización de la onda-, como puede verse en la figura 8.

La luz polarizada puede producirse por reflexión, refracción, esparcimiento, birrefringencia y absorción.

En la tecnología de iluminación el principal

interés se concentra en la polarización lograda por reflexión en una superficie especular dieléctrica, como un vidrio por ejemplo. En la figura 9 se muestra que para un particular ángulo de incidencia, conocido como *ángulo de Brewster*, aproximadamente 56° para la reflexión en una interfase aire-vidrio, la luz reflejada contiene solamente componente perpendicular, aunque en un porcentaje bajo de alrededor del 15%. La luz que se transmite está compuesta del remanente de componente perpendicular y toda la componente paralela del haz incidente, siendo en consecuencia luz parcialmente polarizada. El ángulo de Brewster es igual al valor de θ_i cuando $\theta_i + \theta_t = 90^\circ$ figura 9 y de la ecuación de ley de la refracción se encuentra que este valor es $\tan^{-1}(n_2/n_1)$. Se puede utilizar este fenómeno para reducir el deslumbramiento debido a luz reflejada en superficies muy especulares, como por ejemplo evitando la molestia en planos de escritorios.

Figura 8
Esquema de la vibración de los campos eléctrico y magnético a lo largo de un rayo de luz para una onda linealmente polarizada.



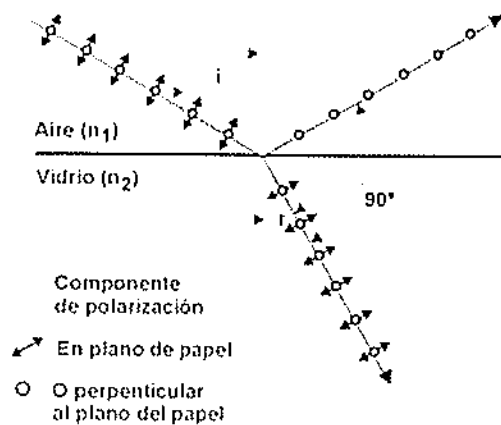


Figura 9
Polarización por reflexión en una superficie aire-vidrio para $(i + r) = 90^\circ$. El haz refractado está parcialmente polarizado.

Si por otro lado se agregan planchas de vidrio al sistema, la componente horizontal se refleja más y más y, la luz transmitida está cada vez más completamente polarizada.

La luz que proviene de la bóveda celeste es luz parcialmente polarizada debido a fenómenos de esparsamiento producido por las oscilaciones de las partículas en el aire. La birefringencia es un fenómeno de doble refracción que se produce en algunos cristales, de manera que el cristal posee distintos índices de refracción según la dirección de vibración del campo eléctrico, sin embargo, el pequeño tamaño de estos cristales limita esta técnica para aplicaciones en el campo de la iluminación.

La polarización por absorción se logra usando materiales que absorben toda la luz que está en un plano determinado y dejan pasar un alto porcentaje de la componente perpendicular, de manera que el efecto

total es el de una importante pérdida de energía luminosa. Este tipo de polarizadores se usa comúnmente en anteojos de sol.

Interferencia y difracción

La naturaleza ondulatoria de la luz no produce efectos muy notorios en lo que se refiere a la iluminación en general, pero los fenómenos de *interferencia* y *difracción* poseen algunas aplicaciones tecnológicas de interés.

La interferencia entre dos conjuntos de ondas se ve normalmente como un patrón estable de bandas claras y oscuras, o de diferentes colores, sobre la pantalla. La aparición de este patrón, estable en el tiempo, depende de la coherencia del sistema, relacionada a la coherencia de las fuentes, es decir a su monocromaticidad, a la geometría del sistema y a la respuesta temporal del detector, en muchos casos el ojo. En la práctica fuentes luminosas mutuamente coherentes son producidas dividiendo un haz de una sola fuente, espacial o temporalmente, y no solamente utilizando fuentes láser. Una aplicación del fenómeno de interferencia en la tecnología actual de iluminación es en la construcción de filtros dicróicos que se utilizan para reflejar o transmitir en forma selectiva solamente ciertas partes del espectro.

La difracción es el resultado del fenómeno de interferencia que se produce entre las infinitas ondas secundarias reemitidas cuando el haz de luz alcanza obstáculos o aberturas de dimensiones del orden de las longitudes de onda. Los efectos de difracción son generalmente demasiado pequeños para ser detectados por el ojo sin ayuda, pero son de considerable importancia en instrumentos ópticos, tales como microscopios y telescopios funcionando con aumentos altos. Los efectos de la difracción dependen de la longitud de onda de la radiación incidente lo que permite que se usen redes de difracción en los espectrorradiómetros, un instrumento utilizado para conocer la composición espectral de las fuentes luminosas.

MAGNITUDES RADIOMETRICAS Y FOTOMETRICAS

Se ha visto que la energía que emiten los átomos, y grupos de átomos, cuando pasan de un estado de energía a otro, puede interpretarse como transportada por ondas electromagnéticas o como fotones. Cualquiera sea el modelo que se elija para la interpretación de los fenómenos, esta energía se propaga por el espacio constituyendo la energía radiante y los cuerpos que emiten energía radiante se llaman radiadores.

Esta energía se mide mediante detectores que la absorben y la transforman en otros tipos de energía, dando lugar al campo de la radiometría, es decir de la medición de la radiación desde el punto de vista energético exclusivamente.

La fotometría a su vez tiene por objeto la evaluación de la energía radiante como estímulo productor de una sensación visual. El problema así planteado presenta dificultades porque el estímulo, o sea la energía radiante, es un ente físico que se mide a través de la sensación visual que produce. El observador humano puede saber dentro de ciertos límites si una sensación visual es mayor o menor que otra, aunque tiene dificultades para cuantificar esa diferencia, también puede saber con mucha certeza si dos sensaciones son iguales cuando los estímulos se presentan simultáneamente en zonas muy contiguas de la retina o en la misma zona de la retina y en forma secuencial.

Se dice que el ojo se puede utilizar como un instrumento de comparación de cero y no como medidor absoluto, pues posee el criterio de igualdad y no el de suma.

Por otra parte, cada observador posee diferente sensibilidad espectral, por lo que ha sido necesario que la Comisión Internacional de la Iluminación establezca un observador patrón teórico que por definición responde a cada estímulo siempre de la misma forma.

Seguramente no existe ninguna persona que tenga esta respuesta pero su representatividad proviene de que ha sido obtenida como media de muchos observadores normales.

Sensibilidad espectral del ojo

La sensibilidad del ojo humano no es uniforme en el espectro visible, sino que varía con la longitud de onda en la forma que se muestra en la **figura 10**. La curva de la derecha es para el ojo adaptado a niveles altos iluminación -visión fotópica- y la curva de la izquierda es para el ojo adaptado a muy bajos niveles de iluminación -visión escotópica-, ambas determinadas con un campo de visión de 2°.

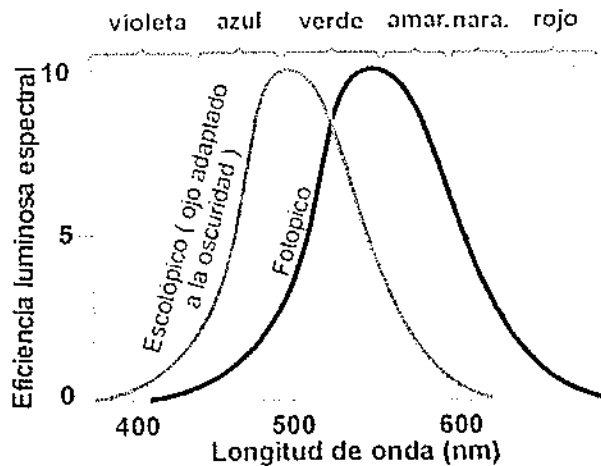


Figura 10
Curvas de sensibilidad espectral relativa para el observador estándar CIE, en condiciones fotópicas y escotópicas, campo de visión 2°.

Visión fotópica

En escenas donde la luminancia está generalmente por encima de alrededor 10 cd/m² la visión se produce completamente a través de los receptores denominados conos y la respuesta visual es máxima en la región amarilla-verde del espectro, a una longitud de onda de 555 nm. Esta respuesta, la curva de la derecha en **figura 10**, fue acordada internacionalmente en 1924 a partir de numerosas investigaciones sobre la igualación de claridad de estímulos monocromáticos de diferentes longitudes de onda. Cuando la ordenada máxima es igual a 1,0 esta curva es la eficiencia luminosa espectral para visión fotópica y se designa como $V(\lambda)$. Es de fundamental importancia para la definición de las unidades fotométricas y la medición del color y la luz.

Visión escotópica

La visión escotópica entra en funcionamiento cuando la luminancia de los alrededores está por debajo de 10⁻² cd/m² y el ojo ha tenido tiempo para adaptarse a la oscuridad, para lo cual a veces se requieren hasta 30 minutos.

La eficiencia espectral luminosa en esas condiciones se simboliza con $V'(\lambda)$, la curva de la izquierda de la **figura 10**, y su pico es a 507 nm, lo que indica un desplazamiento hacia el extremo azul del espectro respecto de la $V(\lambda)$.

Visión mesópica

Para el rango intermedio de luminancias, entre 10^{-2} cd/m² y aproximadamente 10 cd/m², los dos sistemas de fotoreceptores son responsables de la visión, al pasar de visión escotópica a visión fotópica comienza a ser importante también la visión foveal además de la periférica, se pueden apreciar los colores, débilmente al principio y luego más fuerte, la claridad relativa de objetos de diferentes colores también cambia, en particular, la claridad de los rojos aumenta con relación a los azules.

Este último efecto se conoce como el fenómeno Purkinje y al igual que los otros efectos se debe al cambio de las contribuciones de los receptores conos y bastones en la visión a medida que la luminancia cambia en este rango mesópico. La respuesta global a luz de diferentes longitudes de onda se encuentra en algún lugar entre las dos curvas de la figura 10, moviéndose desde la izquierda hacia la derecha a medida que la luminancia aumenta.

Flujo radiante y eficiencia radiante

El flujo radiante (F_e) es la energía emitida por un radiador en la unidad de tiempo y recibe también el nombre de flujo energético. Es la potencia total de la radiación electromagnética, emitida o recibida en todas direcciones y correspondiente a todas las longitudes de onda, incluyendo tanto las componentes visibles como las no visibles. Se mide en Watt.

El flujo radiante espectral ($F_{e\lambda}$) es el flujo radiante por unidad de intervalo de longitud de onda y se expresa en Watt por nanometro (W/nm). El flujo radiante total (F_e) se determina integrando el flujo radiante espectral ($F_{e\lambda}$) sobre el rango total del espectro.

$$F_e = \int F_{e\lambda} d\lambda$$

La eficiencia radiante (η_e) de una fuente es la relación del flujo radiante emitido a la potencia (W) consumida por la fuente:

$$\eta_e = F_e / W$$

Flujo luminoso, eficacia luminosa de la radiación y eficacia luminosa de una fuente de luz.

El flujo luminoso (F) es la parte del flujo radiante relacionado con la respuesta visual, es decir en el rango visible desde 380 nm a 780 nm. Se deriva del flujo radiante por evaluación de la radiación de acuerdo con su acción sobre un receptor selectivo cuya sensibilidad espectral es $V(\lambda)$, la eficiencia luminosa espectral normalizada por la CIE, que constituye el nexo de unión entre las magnitudes radiométricas y las fotométricas. El flujo luminoso considerado se refiere a la visión fotópica.

El flujo luminoso dF asociado con el flujo radiante espectral $dF_{e\lambda}$ sobre un rango $d\lambda$ es por definición:

$$dF = K_m V(\lambda) F_{e\lambda} d\lambda$$

y el flujo luminoso total F se determina integrando esta ecuación sobre el rango visible total:

$$F = K_m \int_{380nm}^{780nm} V(\lambda) F_{e\lambda} d\lambda$$

Donde K_m es la constante de proporcionalidad que permite expresar el flujo luminoso en Lumen cuando el flujo radiante está expresado en Watt.

El valor más lógico que podría haberse dado al coeficiente K_m es la unidad, sin embargo, debido a que las unidades luminosas fueron definidas antes que las energéticas, el Lumen (lm) ha sido determinada en sus orígenes a partir de unidades de intensidad. En la actualidad se acepta la definición acordada en la Conferencia General de Pesas y Medidas de octubre de 1979:

"Un Lumen (lm) es el flujo luminoso de una radiación monocromática caracterizada por una frecuencia de 540×10^{12} Hz y un flujo radiante de $(1/683) \text{ W}$ ".

La frecuencia de 540×10^{12} Hz equivale a una longitud de onda de 555 nm en el aire ($n = 1,00028$) y es la radiación de máxima eficiencia visual pues $V(\lambda = 555 \text{ nm}) = 1$. Esto quiere decir que una energía radiante de 1 W proporciona como máximo 683 lm, que se alcanza cuando se utiliza una radiación monocromática de 555 nm. Para cualquier otra longitud de onda el flujo luminoso asociado es $V(\lambda)$ lm, es decir un valor menor a 683 lm.

La eficacia luminosa de una radiación (K) es una medida de la capacidad de la radiación para producir una sensación visual y se define como el cociente entre el flujo luminoso y el flujo radiante:

$$K = (F / F_e) [\text{lm/W}]$$

La eficacia luminosa espectral de una radiación $K(\lambda)$ se define como el cociente entre el flujo luminoso a una determinada longitud de onda y el flujo radiante a esa misma longitud de onda:

$$K(\lambda) = (F_\lambda / F_{e,\lambda}) [\text{lm/W}] = K_m V(\lambda)$$

De manera que la constante K_m es la eficacia luminosa espectral máxima de la radiación.

Eficacia luminosa de una fuente de luz (η_v) se define como el cociente entre el flujo luminoso total emitido y la potencia total consumida por la fuente:

$$\eta_v = F / W [\text{lm/W}]$$

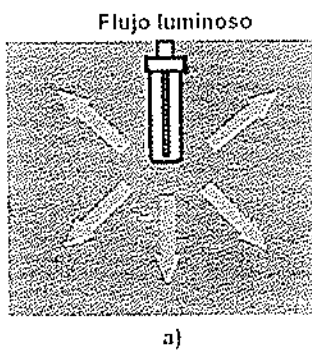


Figura 11
Representación esquemática de a) el flujo luminoso emitido por una fuente.

La eficacia luminosa de una fuente se puede encontrar experimentalmente midiendo primero el flujo radiante espectral de la fuente y luego calculando el flujo luminoso por integración, pero en la práctica es más usual medir el flujo radiante total directamente mediante fotocélulas especialmente corregidas y, si se lo requiere, el flujo radiante puede ser medido mediante un instrumento detector de energía, como una termopila.

Esta relación expresa el rendimiento energético de una lámpara y mide la calidad de la fuente como instrumento destinado a producir luz por la transformación de energía eléctrica en energía radiante visible. Por ejemplo el flujo luminoso de una lámpara incandescente de 100 W es 1380 lm, el de una lámpara fluorescente compacta de 20 W con balasto electrónico es de 1200 lm. En la *figura 11a* se presenta una representación esquemática del flujo luminoso que emite una fuente.

Irradiancia e iluminancia

La irradiancia es el flujo radiante por unidad de área que incide sobre una superficie; la unidad de irradiancia es Watt por metro cuadrado (W/m^2).

La iluminancia, simbolizada por E , está definida en forma similar que la irradiancia; la unidad es el lumen por metro cuadrado (lm/m^2) y se denomina lux (lx). Si un elemento de área dA es iluminado por un flujo luminoso dF entonces

$$E = dF/dA$$

En general se usa lo término "nivel de iluminación" o simplemente "iluminación" con el mismo significado que iluminancia.

Se debe enfatizar que la iluminancia está siempre referida a un plano determinado; en general cuando se mide la iluminancia sobre el plano de trabajo o iluminancia horizontal, se fija convencionalmente una altura de 0,85m; cuando se necesita especificar la iluminancia sobre paredes o pantallas de video, las mediciones se hacen sobre planos verticales y se habla de iluminancia vertical. Su aplicación práctica es cuantificar la cantidad de luz que llega a una superficie y por la simplicidad de su medición es la magnitud que más se usa. Por su misma definición, la iluminancia es independiente del tipo de superficie sobre la cual incide el flujo luminoso y por lo tanto es independiente de sus propiedades físicas reflectoras, transmisoras o absorbentes. En la figura 11c se muestra una representación esquemática de la iluminancia sobre una superficie.

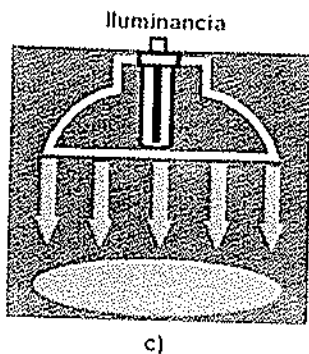


Figura 11
(c) la iluminancia sobre una superficie horizontal.

Intensidad radiante y luminosa

Para caracterizar una fuente puntual, lo que en la práctica significa cualquier fuente cuyas dimensiones sean pequeñas comparadas con su distancia a la superficie de interés, se emplea la intensidad radiante, o la intensidad luminosa, si solamente interesa la componente a la cual es sensible el ojo.

La Intensidad radiante de una fuente puntual se define para una dirección dada como el cociente entre el flujo radiante, que abandona la fuente y se propaga en un elemento de ángulo sólido que contiene la dirección considerada, y dicho elemento de ángulo sólido:

$$I_e = dF_e / d\omega [W / sr]$$

La unidad es el Watt por estereoradián, que es la unidad del ángulo sólido, como se verá a continuación.

Se mide el ángulo sólido por la relación entre el área de la superficie (S) determinada por el cono de revolución sobre una esfera cualquiera de centro en el vértice O y el cuadrado del radio de la esfera (R):

$$\omega = S / R^2$$

como se muestra en la figura 12.

La unidad del ángulo sólido se obtiene cuando el área de la superficie S es igual a R^2 , es decir, que si la esfera tiene un radio de 0,5m el área de la superficie esférica determinada por el ángulo unitario sólido será de $0,25m^2$. El ángulo sólido así definido se llama estereoradián y se simboliza con sr. Por ejemplo, si un ángulo sólido determina una superficie esférica cuya área es de $8m^2$ sobre una esfera de radio 2,5m, su valor será:

$$\omega = S/R^2 = 8m^2 / (2,5m)^2 = 1,28 sr$$

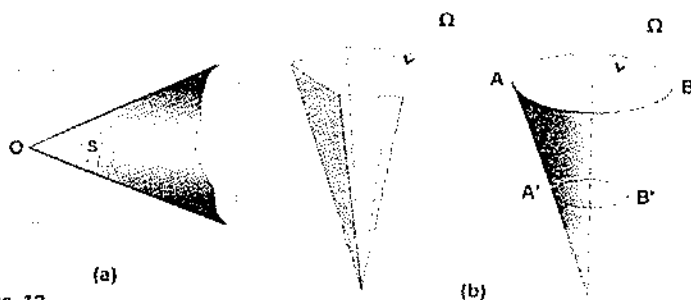


Figura 12
Angulo Sólido.
a) a partir de su inscripción en una esfera.
b) el ángulo sólido no depende del tipo de cuerpo de revolución.

El ángulo sólido que subtiende una esfera de radio R es:

$$\omega = 4\pi R^2 / R^2 = 4\pi \text{ sr} = 12,56 \text{ sr}$$

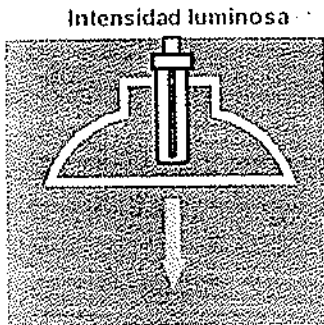


Figura 11
b) la intensidad

Entonces, un estereoradián es el ángulo sólido que teniendo su vértice en el centro de una esfera determina, determina sobre la superficie de dicha esfera un área equivalente a la de un cuadrado de lado igual al radio de la esfera.

Dentro del cono que tiene una fuente puntual en el vértice ningún rayo atraviesa la superficie cónica de modo que el flujo radiante en cualquier superficie esférica determinada por dicho ángulo es el mismo.

Por esta razón, cuando se trata de una fuente puntual la intensidad radiante en una dirección determinada es independiente de la distancia de la fuente. Las fuentes reales tienen dimensiones físicas determinadas y el cono se transforma en un tronco cónico y estas nociones se mantienen solamente a distancias para las cuales la fuente puede considerarse puntual.

La Intensidad luminosa de una fuente puntual (I) en una dada dirección es la magnitud fotométrica, **figura 11b** que corresponde a la magnitud radiométrica que hemos definido como intensidad radiante de una fuente puntual.

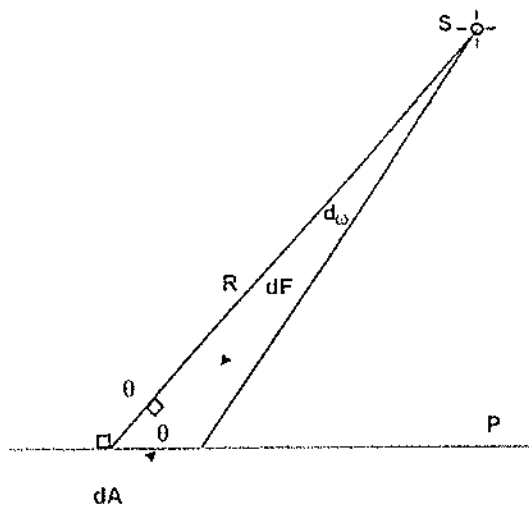


Figura 13
Iluminación de una superficie plana por una fuente puntual.

Un requerimiento frecuente en ingeniería de iluminación es el cálculo de la iluminancia producida sobre una superficie por un dado arreglo de fuentes luminosas. El ejemplo más sencillo es la iluminación de una superficie plana mediante una sola "fuente puntual". En la figura 13 se muestra una fuente puntual que emite un flujo luminoso en distintas direcciones e ilumina una superficie plana. El flujo dF interceptado por un elemento de área dA es el flujo emitido dentro de un ángulo sólido $d\omega$ subtendido en la fuente por el elemento dA ; se ha asumido que no se produce absorción de luz en el espacio entre la fuente y la superficie. El cociente $dF/d\omega$ se denomina intensidad luminosa de la fuente en la dirección particular considerada; por lo tanto

$$I = dF / d\omega$$

La unidad de I es el lumen por estereoradian (lm/sr) o candela (cd).

La intensidad luminosa es entonces el flujo luminoso por

estereoradián emitido en una dirección particular.

Para una fuente uniforme puntual de intensidad luminosa de $I \text{ cd}$ el flujo total emitido es $4\pi I \text{ lm}$; que corresponde al flujo emitido por una candela patrón, una unidad ahora obsoleta. En la 16 Conferencia General sobre Pesas y Medidas, París 1979, se decidió que:

- La candela es la intensidad luminosa, en una dada dirección, de una fuente que emite radiación monocromática de frecuencia $540 \times 10^{12} \text{ Hz}$ y cuya intensidad radiante en esa dirección es $1/683$ vatios por estereoradián,
- La candela así definida es la unidad básica aplicable a cantidades fotópicas.

Como ya se explicó esta definición conduce a la definición del lumen dada anteriormente. Generalmente I varía con la dirección de la luz emitida: en el caso donde la intensidad luminosa es la misma para todas las direcciones se dice que la fuente es uniforme. Pero en general a partir de la distribución de intensidad de una fuente de iluminación frecuentemente se requiere determinar el flujo luminoso, es decir:

$$F = \int_{\Omega_{\text{fuente}}} d\omega$$

La solución de esta integral depende la relación funcional de la intensidad con el ángulo y en la mayoría de las situaciones de interés prácticos la distribución de intensidad no puede expresarse como una función matemática y se requiere una integración numérica.

Leyes de la inversa del cuadrado y del coseno de la iluminación

La iluminancia producida por una fuente puntual a una distancia r desde el plano (ver figura 13), se obtiene de las ecuaciones de iluminancia e intensidad:

$$E = I \, d\omega / dA$$

De la figura 13:

$$d\omega = dA \cos \theta / r^2$$

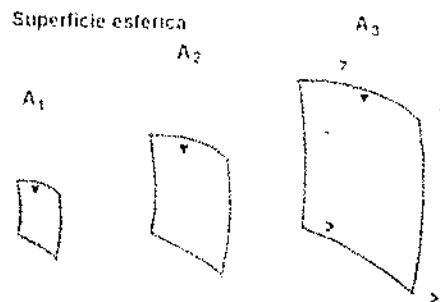
Por lo tanto substituyendo $d\omega$ en la ecuación obtenida para la iluminancia se tiene:

$$E = I \cos \theta / r^2$$

Ecuación que expresa la ley de la inversa del cuadrado y del coseno de la iluminación de una fuente puntual, de gran utilidad para el cálculo de la iluminación. En la figura 14 se representa el significado de esta ley.

Fuente puntual

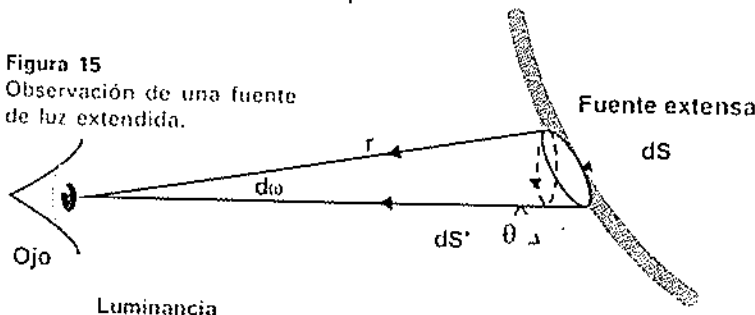
Figura 14
Ley de la inversa del cuadrado



Luminancia y Radiancia

Para una fuente extendida, que no es pequeña comparada con su distancia desde el punto de observación, el concepto de intensidad luminosa no es directamente aplicable. Sin embargo, una fuente extensa puede considerarse como un ensamble de pequeños elementos de superficie luminosos de área dS , cada uno de los cuales puede ser considerado como una fuente puntual.

Figura 15
Observación de una fuente de luz extendida.



La intensidad luminosa dI_α de cada elemento de superficie dS , visto desde una dirección particular, es proporcional al área proyectada dS' en esta dirección, figura 15 siendo la constante de proporcionalidad simbolizada con L_α ; por lo tanto

$$dI_\alpha = L_\alpha \, dS'$$

L_α es denominada la luminancia de la superficie emisora en la dirección definida por el ángulo α , y representa la intensidad luminosa por unidad de área proyectada, en esa dirección figura 11 d. De ahí se puede expresar:

$$L_\alpha = dF_\alpha / dS \, d\omega \, f(\alpha)$$

Donde $f(\alpha)$ es un factor que en cada caso habrá que determinar y que depende del tipo de superficie emisora.

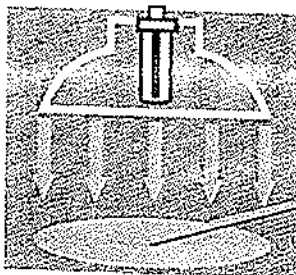


Figura 11 d)
la luminancia.

Como puede verse la luminancia caracteriza la fuente o superficie emisora en una dirección y es una magnitud de singular importancia pues es la que aprecia el ojo. Está relacionada con la sensación visual de claridad, a pesar de que no son directamente equivalentes. La unidad de la luminancia es la candela por metro cuadrado (cd/m^2) que también puede expresarse como lumen por estereó radian por metro cuadrado ($\text{lm sr}^{-1} \text{m}^{-2}$).

El concepto de luminancia se puede aplicar a cualquier superficie que está emitiendo o reflejando luz, y puede generalizarse para incluir cualquier superficie imaginaria en el espacio a través de la cual pase luz, por ejemplo una porción del cielo. Se puede demostrar que la luminancia de cualquiera de estas superficies, en un medio no emisor, no absorbente y no dispersor, es constante a lo largo de un rayo que atraviese a la superficie. En términos menos formales esta enunciación corresponde a la observación cotidiana de que en aire limpio la claridad de una superficie no depende de su distancia al observador.

La luminancia de una fuente extendida puede variar con la posición de la fuente y con la dirección desde donde se la observa y, si estas variaciones son conocidas, la iluminancia producida por la fuente en una dada ubicación se puede encontrar en principio como sigue. La iluminancia dE producida sobre un plano a una distancia r desde un elemento de la fuente o superficie emisora, que posee una intensidad dI , es, de acuerdo a la ecuación de la ley de la inversa del cuadrado:

$$dE = dI (\cos\theta) / r^2$$

Utilizando la relación geométrica de figura 15:

$$dS' = r^2 d\omega$$

y sustituyendo dI en términos de luminancia, se obtiene la ecuación:

$$dE = L_{\alpha} \cos\theta d\omega$$

la que integrando se transforma en

$$E = \int_{\omega} L_{\alpha} \cos\theta d\omega$$

Esta ecuación puede ser usada para calcular la iluminancia producida por una fuente extensa. En la práctica la integral es difícil de evaluar directamente por lo que se han desarrollado varios métodos especializados para simplificar los cálculos.

Una fuente uniforme difusa es una que tiene la misma luminancia sobre toda su superficie para todas las direcciones de observación; se dice que obedece a la ley de Lambert. Una superficie reflectora que posee esta propiedad, y refleja toda la luz incidente, se denomina un reflector difusor perfecto:

$$f(\alpha) = \cos(\alpha)$$

Entonces:

$$L = dF_{\alpha} / dS d\omega \cos(\alpha)$$

$$L = I_{\alpha} / dS \cos(\alpha)$$

Si se llama I_0 la intensidad según la normal y L_0 la luminancia correspondiente a esa dirección:

$$L_0 = I_0 / dS$$

y como $L_{\alpha} = L_0$, se tiene que:

$$I_{\alpha} = I_0 \cos(\alpha) \text{ (Ley de Lambert o del coseno)}$$

Es decir que en los emisores o difusores perfectos la intensidad varía con el coseno del ángulo que forma la dirección de emisión normal. Si ahora se sustituye esta expresión en la ecuación para la luminancia, se obtiene que L queda independiente de la dirección. Esta cualidad del difusor perfecto es lo que hace que una esfera translúcida luminosa parezca un disco plano.

En el caso de una superficie que refleje perfectamente en forma difusa se puede demostrar que, si su factor de reflectancia es r , la relación entre la iluminancia, es decir la radiación de luz incidente, y la luminancia, es decir la reflejada desde ella, viene dada por la expresión:

$$L = \rho E / \pi$$

Si la superficie no es perfectamente difusora en lugar del factor de reflectancia se usa el factor de luminancia q que es el cociente entre la luminancia de la superficie reflectora, vista desde una dada dirección, a la luminancia de una superficie blanca difusora iluminada idénticamente, en este caso la ecuación es:

$$L = q E / \pi$$

Esta cantidad varía con la longitud de onda y es utilizado en cálculos relacionados con superficies coloreadas.

Exitancia luminosa

La exitancia luminosa M_v en un punto sobre una superficie es igual al flujo luminoso total emitido por unidad de área. Para un elemento de área dS que emite un flujo total de dF (sobre un ángulo sólido de 2π sr)

$$M_v = dF / dS$$

La correspondiente medida de radiación es la exitancia radiante M_e . Para una fuente uniforme difusora existe una relación entre su exitancia luminosa y su luminancia, es decir

$$M_v = \pi L$$

Que se deriva calculando el flujo total que llega a una superficie hemisférica centrada sobre una fuente plana que se supone que obedece a la ley de Lambert.

Resumen de las magnitudes fotométricas

Magnitud fotométrica	Definición	Unidades
Flujo luminoso: cantidad de flujo radiante que produce sensación visual	$F = K_m \int_{380nm}^{780nm} V(\lambda) F_{e\lambda} d\lambda$	Lumen (lm)
Intensidad luminosa: flujo luminoso emitido en un pequeño cono que contiene una dirección dada dividido por el ángulo sólido del cono	$I = dF / d\omega$	Candela (cd)
Iluminancia: flujo luminoso sobre una determinada área	$E = dF / dS \text{ recibido}$	Lux (lm/m ²)
Luminancia: flujo luminoso emitido en una dada dirección dividido por el producto del área proyectada de una fuente puntual perpendicular a la dirección y el ángulo sólido que contiene esa dirección	$L = dF / d\omega dS \cos\alpha$	cd / m ²
Exitancia luminosa: flujo emitido en todas direcciones por unidad de superficie emisora	$M_v = dF / dS \text{ Emitido}$	lm / m ²

**CONSULTA
BIBLIOGRAFICA**

- Artigas J.M. / Capilla P/ Felipe A. / Pujol J. (1995) - Optica Fisológica - Interamericana McGraw-Hill
 Boyce P. (1981) - Human Factors in Lighting - Applied Sciences Publishers- London
 Casas J. (1994) - Optica - 7ª Ed. - Coop. Artes Gráficas Librería General
 Commission Internationale de l'éclairage CIE (1970). Principles of light measurement. CIE Publication 18
 Coaton J.R. & Marsden A.M. (1997) 4 th edición- Lamps and Lighting - Arnold John Wiley & Sons Inc.
 Capítulo 1: L.C. Wiltshire, Light
 IESNA: Illuminating Engineering Society of North America (1993). Lighting Handbook IES, 8ª edición
 capítulos 2, 3 y 4.
 IESNA Lighting Education, Fundamental level, ED-100 (1993) Capítulo 1
 IESNA Lighting Education, Intermediate level, ED-150 (1993) Capítulo 2

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

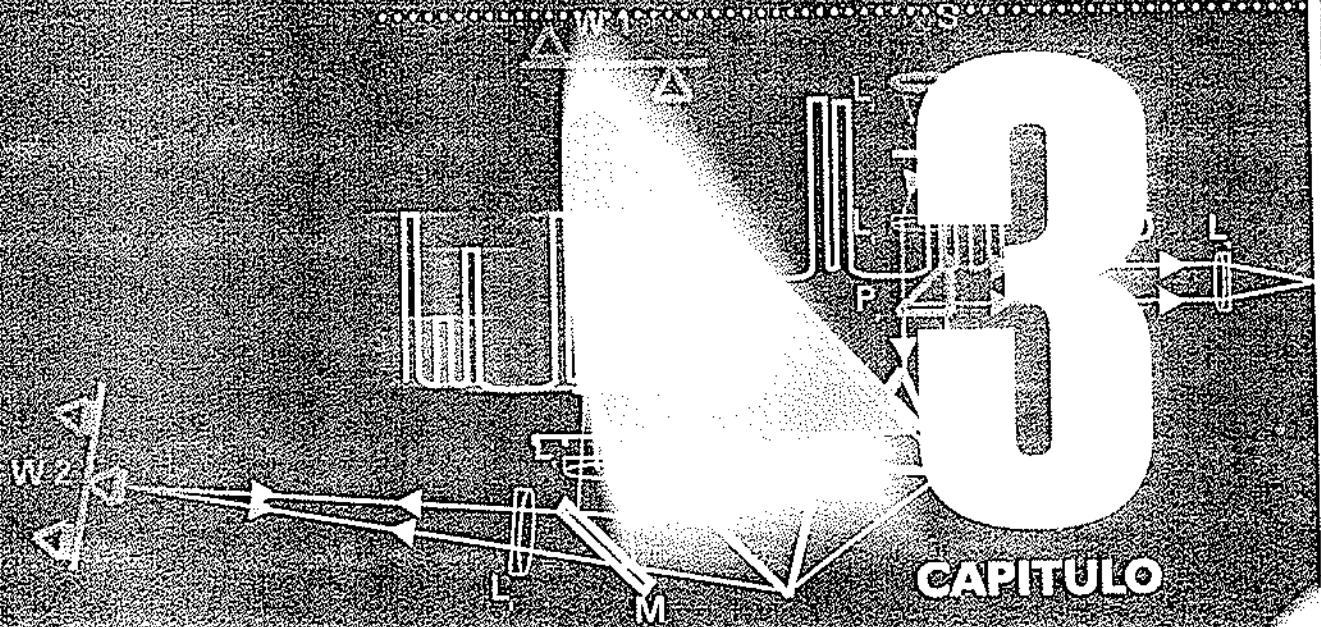
Notas

Ne

EL COLOR

3

CAPITULO



Autor:
Arq. María L. Fide Mattello

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

N

LA LUZ Y EL COLOR SON PRIMAS HERMANAS Y NO DEBEN SER TRATADAS POR SEPARADO

Mariano Aguilar*

*Notable científico español
discípulo de W.S. Stiles

Lo sostenido por Aguilar nos ha conducido a incluir este Capítulo dentro del presente Manual, que hemos desarrollado solamente en sus aspectos fundantes.

La separación entre luz y color nunca fue aceptada por los físicos, ni siquiera por aquellos dedicados al color cuya principal preocupación fue su medición. Ellos desarrollaron la colorimetría, una ciencia netamente psicofísica al igual que la fotometría, que tuvo el mérito de establecer la medición no perceptiva del color, impulsando la calidad en la industria del color, el control de los alimentos, la conservación de las obras de arte, el desarrollo de la televisión en color, más un largo conjunto de etcétera.

Otras disciplinas no quedaron fuera de su impacto. La Fisiología le dedicó a la visión cromática más de un capítulo, y hasta el día de hoy continúan las discusiones sobre la oponencia cromática instaurada por Hering.

La luminotécnica se ocupa de él cuando habla de la temperatura de color de los iluminantes o cuando estos se aplican a escenas coloreadas. También cuando determina la distribución espectral de sus lámparas.

Todo esto ocurre porque no solo vemos color en ocasiones especiales sino en todo lo que nos rodea. El color es tan normal en nuestras vidas que generalmente no prestamos atención a lo que él significa, ni nos preguntamos porque está aquí o allí. Sin embargo su estudio es una caja de sorpresas digna de ser abierta.

LA FISICA DEL COLOR

Para la Física, las causas del color son diversas, pero todas ellas tienen el mismo origen: la existencia de electrones en la materia que responden selectivamente a las diferentes longitudes de onda del espectro visible.

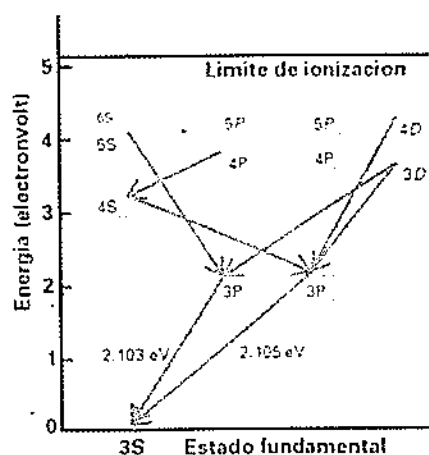


Figura 1
Diagrama del espectro de longitudes de onda del átomo de sodio. La mayoría de las transiciones que conducen al estado fundamental pasan a través de los niveles 3P. En estas transiciones se emiten cuantos de luz con energías de 2.103 y 2.105 electronvolt que corresponde a la región amarilla del espectro visible.

Las interacciones de la luz con la materia, que posteriormente dará lugar al color, viene determinada por un principio de la física cuántica según el cual los átomos tan sólo pueden existir en específicos estados discretos, caracterizados por poseer una determinada energía.

Cada átomo presenta una energía mínima, o fundamental, y una serie determinada de estados excitables con energías progresivamente cada vez más elevadas. Cuando un átomo sufre una transición desde un determinado estado excitado hasta otro de inferior energía, emite una radiación cuya energía es igual a la diferencia entre las energías de dichos niveles.

Esta energía aparece en forma de fotón o cuanto de luz, que se emite a específicas frecuencia determinadas justamente por dicha diferencia energética.

En los átomos, iones y moléculas, cada electrón ocupa un orbital alrededor del núcleo atómico. Si se dibuja en corte estos orbitales, las capas formarán una

escalera. En la *figura 1*, correspondiente a un átomo de sodio, puede observarse que cada peldaño de la escalera de energías, sólo puede estar ocupado por un número limitado de electrones: dos electrones llenan la primera capa y ocho las dos capas siguientes.

Los electrones se aparean entre sí de un modo altamente estable. Luego, para promover electrones apareados de una capa completa de electrones a otra, se necesita gran cantidad de energía que solo puede aportar una radiación ultravioleta no visible. Como consecuencia, las capas completas no influyen directamente en el color de los cuerpos. Por el contrario, el color tiene su origen en las transiciones de los electrones *no apareados* que, en general, son los más exteriores o cercanos al estado fundamental. Estos electrones de valencia son también los que participan en los enlaces químicos.

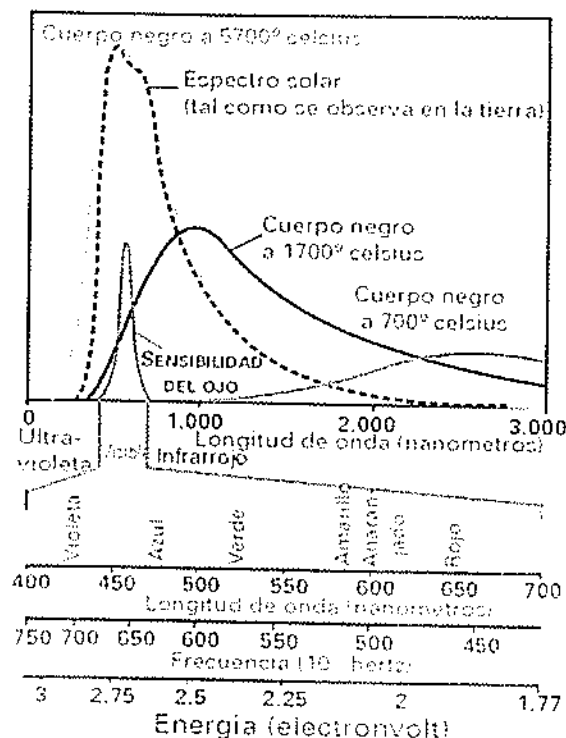


Figura 2
Espectro de la luz solar. Este se ajusta perfectamente a la sensibilidad de ojo humano. La radiación del sol es aproximadamente igual a la de un cuerpo negro con una temperatura de 5700 grados Celsius. La forma del espectro del cuerpo negro viene determinada totalmente por la temperatura, desplazándose hacia las longitudes más cortas a medida que la temperatura aumenta. El espectro se puede expresar en unidades de longitud de onda, frecuencia, energía, u otras.

Si comparamos el gráfico de figura 1 con el de figura 2, y leemos en las respectivas escalas de energía, podremos comprobar lo dicho ya que el color amarillo, característico del átomo de sodio, lo aporta solo el nivel 3P. Otros átomos, también producen líneas de emisión específicas al ser excitados ó ionizados y retornar al estado fundamental. En consecuencia el color de la luz emitida dependerá de cómo se encuentren espaciados los diferentes niveles energéticos. En el caso del neón, por ejemplo, las líneas más intensas se sitúan en la zona espectral del rojo, lo que explica su color. Lo mismo ocurre con el mercurio cuya línea predominante se ubica en el azul.

Las líneas de emisión y absorción de los gases son bien definidas. Esto no ocurre en los líquidos y sólidos ya que en estos casos el espectro es continuo. Un ejemplo de esta situación es el cuerpo negro, figura 2, cuyo análisis permitió a Max Plank sentar las bases de la mecánica cuántica en 1900. El espectro de las radiaciones de este cuerpo, es independiente de la composición química del emisor y viene determinado por su temperatura. En el cero absoluto todos los átomos ocupan el nivel disponible de menor energía y no se emite ninguna radiación. A medida que la temperatura aumenta, algunos de los átomos son promovidos aleatoriamente a

determinados estados excitados distribuyéndose a lo largo de un amplio intervalo de energías. A temperatura ambiente, las excitaciones térmicas se hallan confinadas en las regiones bajas de energía y solo se emite radiación infrarroja. A 700 grados Celsius comienza a aparecer algo de luz visible de color rojo oscuro. Si la temperatura sigue en aumento, la luz se hace más brillante y cada vez más azulada. Un ejemplo común de cuerpo negro es la lámpara de filamento de tungsteno o incandescente, que alcanza una temperatura de 2.200 grados proporcionando una luz blanca-amarillenta. Las lámparas para flash, empleadas en fotografía, son capaces de alcanzar 4000 grados y por ello proporcionan una luz mucho más blanca y uniforme que no distorsiona el color de las imágenes.

Cuando los átomos se combinan para formar una molécula o se condensan para constituir un líquido o sólido, entran en juego nuevos cambios:

- a) aparecen vibraciones y rotaciones mecánicas, cuya existencia no es posible en los átomos aislados, y solo ocasionalmente influyen en el color de la materia; y
- b) cambios en el estado de los electrones de valencia que, cuando no están apareados, son la causa fundamental del color.

En los elementos metálicos de transición, como el hierro, cromo y cobre y en las tierras raras, aparece un conjunto de estados electrónicos excepcionales: ciertas capas internas de los átomos de los metales en las series de transición permanecen solo parcialmente llenas. Esta capas albergan electrones no apareados, cuyos estados excitados se sitúan frecuentemente en el espectro visible. Dichos electrones son los responsables de una variedad de colores. Por ejemplo, en el caso del rubí y la esmeralda el color viene producido por iones de cromo que reemplazan, en pequeñas cantidades, al óxido de aluminio que es el material de base de estas piedras. El cambio de color de las mismas se debe a la formación de diferentes enlaces químicos que desplazan la banda de absorción de la luz.

Lo mismo ocurre con el aguamarina y del jade, pero en estos casos el color se debe al agregado de impureza de hierro en lugar de cromo. Muchos compuestos y cristales, donde los metales de transición aparecen como componentes principales y no como impurezas, se presentan también fuertemente coloreados y constituyen la mayoría de los pigmentos utilizados en la fabricación de pinturas. Resumiendo podemos decir que, desde el punto de vista físico, la aparición o no de un color indicará siempre un cambio de composición o de estado.

LA MEDICION DEL COLOR

Para la Óptica, el color es solo una radiación electromagnética al igual que la luz, y para su rama aplicada la colorimetría será una mezcla de al menos tres componentes que pueden representarse por coordenadas espaciales según los diversos sistemas de ordenamiento de color. Nuevamente un cambio, esta vez de coordenadas, indicará la transición de un color a otro. Nótese que es la única sensación visual que puede generar toda su diversidad a partir de solo tres primarios. Esta particularidad, denominada trivariancia, ha permitido el desarrollo, de los colorímetros visuales, la televisión en color y es el fundamento de esta ciencia aplicada. La trivariancia visual indica que es necesario contar con tres primarios para definir sin ambigüedad un color. Por ello, cuando se habla de monocromatismo o bicromatismo, se hace referencia a alteraciones de la de visión cromática.

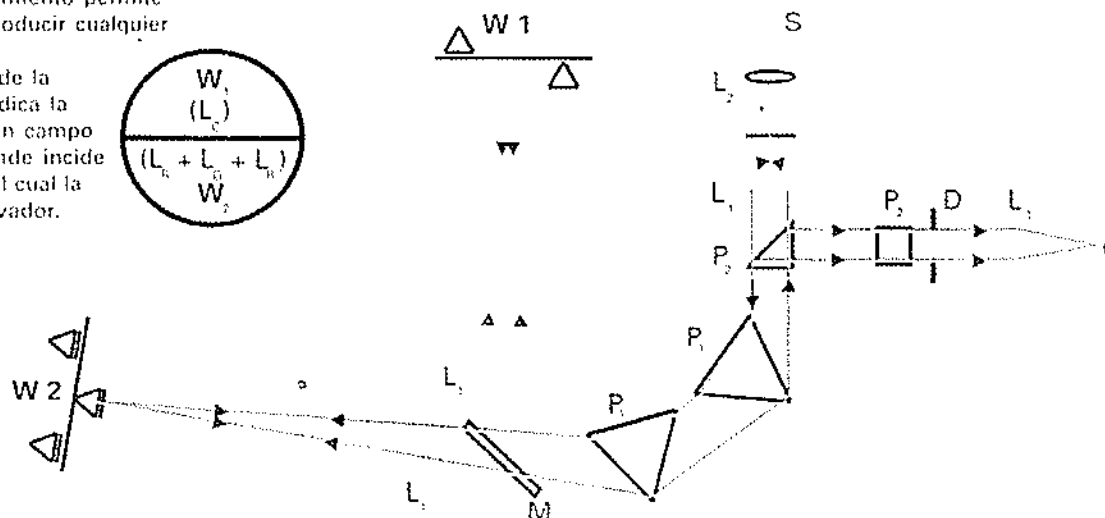
En niveles escotópicos, donde el color no se aprecia, el aspecto de una fuente luminosa se describe mediante el valor de cualquier magnitud relacionada con el flujo luminoso. A niveles fotópicos, si la radiación es monocromática, la fuente luminosa se caracterizará por su flujo luminoso total, y por su color o longitud de onda. Si la radiación es heterocromática, además del flujo luminoso deberemos conocer la intensidad de cada una de las radiaciones del espectro emitido. Sin embargo, gracias a la trivariancia, bastará el conocimiento de la proporción de tres variables o primarios para definir la radiación. A la resolución de este problema está abocada la colorimetría cuyos fundamentos pasamos a desarrollar.

Hoy se cuenta con numerosos instrumentos que miden directamente el color según coordenadas cromáticas referidas a los sistemas propuesto por la Comisión Internacional de Iluminación ó CIE. Todos ellos se basan en primeras mediciones realizadas a comienzos del Siglo XX con colorímetros visuales, del tipo que reproducimos en *figura 3*, y que emplearon como fotocélula al ojo humano.

Figura 3

Colorímetro de W. D. Wright. La fuente emite una luz de espectro continuo que es dispersada por los prismas P y analizada por prismas de Porro móviles ubicados en W1 y W2, cuya función es seleccionar la longitud de onda deseada. Las radiaciones que ellos remandan (ver sentido de las flechas), son modificadas en intensidad por el observador, haciendo uso de filtros acromáticos situados frente a los prismas de Porro. Este procedimiento permite medir y reproducir cualquier color.

El esquema de la izquierda, indica la imagen de un campo bipartito donde incide W1 y W2, tal cual la ve un observador.



Como ya dijimos, mediante tres variables y con ciertas restricciones, podemos medir o reproducir cualquier color. Para ello es necesario adoptar ciertas restricciones en el modo de realizar la medición:

- 1) Nivel fotópico sin llegar al deslumbramiento;
- 2) Visión central con un campo de 2 a 4 grados
- 3) Colores no relacionados sobre fondo no iluminados
- 4) Observadores jóvenes con visión cromática normal

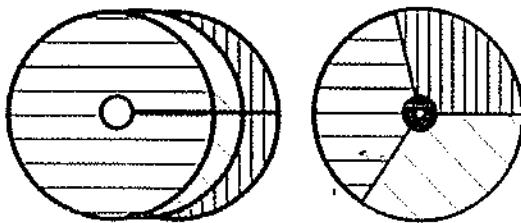


Figura 4
Construcción de los discos de Maxwell. Este tema puede consultarse en Nickerson (1931)

La experiencia consiste en igualar un campo bipartito, como el de la figura 3, donde en una mitad se reproduce el color a medir y en la otra la mezcla tricromática. Un simulacro simple y conveniente para entender un colorímetro y lo que a continuación desarrollaremos, son los discos de Maxwell utilizados por este investigador en sus estudios sobre visión del color (1860). Ellos consisten en tres discos: rojo, verde y azul montados mediante una rendija que permite seleccionar la porción de

disco visible, figura 4. Al girar, estos discos producen una mezcla uniforme de color que puede compararse con el color de otro disco pequeño ubicado en el centro de los anteriores. Variando el tamaño relativo de los sectores rojo, verde y azul se puede igualar la mezcla temporal del disco grande con el color desconocido del disco pequeño. Los tamaños relativos de los sectores circulares, actúan como "cantidades" L o flujos luminosos en las ecuaciones colorimétricas que pasamos a detallar.

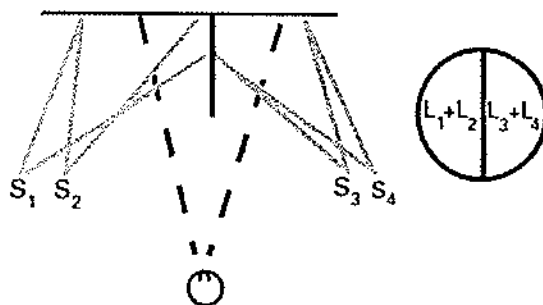


Figura 5
Dispositivo de igualación de colores. A la derecha aspecto del campo visto por el observador igual al de Figura 3.

Colores metámeros.

Con cuatro fuentes luminosas y una pantalla difusora que difunda por igual todas las radiaciones, podemos lograr un dispositivo adecuado para sumar de a dos dichas fuentes, según se indica en figura 5. Regulando convenientemente las intensidades luminosas de cada una de ellas, se logra que las sumas de las luminancias que emergen de cada una de las mitades del campo bipartito sean perceptivamente iguales. Esta igualdad de iluminación se representa por la ecuación fotométrica:

$$L_1 + L_2 = L_3 + L_4 \quad (1)$$

Las cuatro fuentes pueden multiplicarse, ya que la igualdad fotométrica goza de todas las propiedades de las igualdades algebraicas: asociativa, multiplicativa y distributiva. Si las fuentes no tienen el mismo color, es decir poseen una diferente composición espectral, el color de la mitad de la pantalla iluminada por S_1 y S_2 será distinto si se ilumina independientemente con cada fuente (L_1 ó L_2) o por ambas a la vez ($L_1 + L_2$). Este color, resultado de superponer en la pantalla la luminancia producida por dos fuentes o más, se conoce como *color mezcla*. La técnica de obtener un color mediante la suma de diferentes fuentes luminosas, se denomina *mezcla de colores*.

Puede ocurrir que, a pesar de ser L_1 y L_2 distintos a L_3 y L_4 el color resultante de $L_1 + L_2$ sea igual al $L_3 + L_4$: en este caso la ecuación fotométrica (1) se transforma en la ecuación cromática

$$L_1 + L_2 = L_3 + L_4 \quad (2)$$

Nótese el cambio de signo. Este último $\equiv$ indica equivalencia. Los colores mezcla $L_1 + L_2$ y $L_3 + L_4$ perceptivamente iguales entre si pero teniendo diferentes espectros luminicos, se denominan *colores metámeros* ya que, si las condiciones experimentales varían, ellos dejarán de parecer iguales.

Si por el contrario, sumamos colores con igual composición espectral, no sólo el color resultante sino también su composición espectral serán iguales. A estos colores se los denomina *isómeros*. Un corolario del metamerismo es que el ojo humano, a diferencia del oído con los sonidos, es incapaz de distinguir los colores que componen una mezcla.

Leyes de Grassmann.

Las propiedades algebraicas de las mezclas cromáticas fueron comprobadas por Grassmann en 1853, quien además formuló las tres leyes o propiedades que se conocen por su nombre. Estas son:

Propiedad aditiva o asociativa: Una ecuación cromática conserva sus propiedades si: a) se suma un mismo color a ambos términos; b) se suma término a término con otra ecuación cromática; o c) se sustituye dos o más de sus componentes por su mezcla.

Propiedad conmutativa: Permite trasladar un término de un miembro a otro en la ecuación.

Por ejemplo si $L_1 + L_2 \equiv L_3 + L_4 + L_5$ (3)

se cumple que: $L_1 + L_2 - L_5 \equiv L_3 + L_4$ (4)

Como realidad física, el signo menos de L_5 en (4) significa que L_5 desaturará la suma de $L_3 + L_4$ a fin de facilitar su equivalencia con $L_1 + L_2$. Las cantidades de cualquier componente que deben añadirse a un color dado para asegurar la equivalencia con una mezcla de los otros dos componentes, se denominan *cantidades negativas de color*.

Propiedad multiplicativa: Si multiplicamos los dos términos de (3) por un número M, se sigue manteniendo el metamerismo.

Colores puros

Al hablar de radiaciones visibles dijimos que a cada longitud de onda le corresponde un color que denominamos monocromático. Sin embargo, una longitud de onda tiene el mismo sentido que un punto en una recta: es el límite de un intervalo de radiaciones en el espectro luminoso (λ) cuando éste tiende a cero. En la práctica en vez de considerar límites, tomamos como valores monocromáticos pequeñas porciones λ definidas por su anchura de banda. Dentro de dicha zona podemos admitir que la amplitud es constante pero, como ella no pasa bruscamente de la nada a un valor determinado sino que se ajusta más a una función Gaussiana como se muestra en **figura 6**, el valor que finalmente define la amplitud viene dado por el intervalo $(-\lambda_1 + \lambda_1)$ de las λ cuya amplitud es 0.5.

La CIE denomina luz monocromática al conjunto de longitudes de onda cuyo ancho de banda no sobrepasa los 10 nm, que es lo que alcanzan a definir los filtros interferenciales. En interferometría, hasta la aparición del láser cuya anchura de banda es del orden de 10^{-11} nm, se consideraban luces monocromáticas las radiaciones procedentes de las lámparas espectrales de espectro discontinuo, **figura 7**, con ancho de banda del orden 10^{-5} nm. Estas lámparas sirven, hasta el día de hoy, para calibrar los colorímetros visuales.

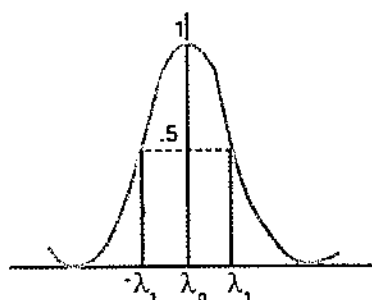


Figura 6
Anchura de banda de una longitud de onda dominante.

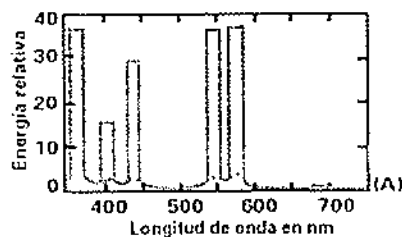


Figura 7
Distribución de la energía espectral relativa de una lámpara de arco de mercurio que emite en las longitudes de 404.656, 407.781, 435.835, 491.604, 546.074, 576.959 y 579.065 nm.

Además de los colores que hemos considerado, existen otros denominados púrpuras, que son mezcla de los colores monocromáticos que ocupan los extremos del espectro visible (400 y 700 nm). Estos tendrán mas tinte rojizo o azul según se acerquen a uno, u otro de los extremos del espectro. Los colores monocromáticos y los colores púrpuras constituyen los colores puros. Como los púrpuras no poseen longitud de onda se los nombra por su longitud de onda complementaria, como veremos a continuación.

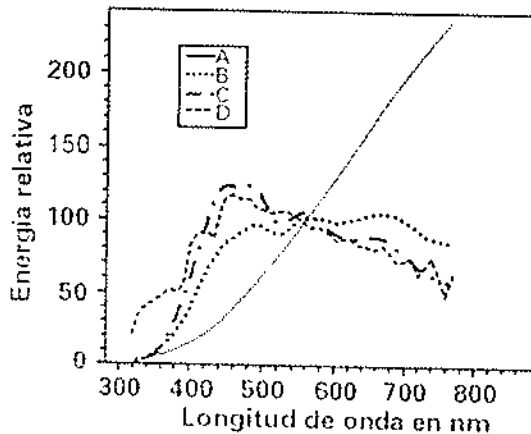


Figura 8
Curva espectral para
diferentes blancos patrones
recomendados por la CIE.

Colores complementarios.

Para un estímulo monocromático de longitud de onda inferior a 492 nm, siempre encontraremos otro de longitud de onda superior a 567 nm que, mezclado en una conveniente proporción con el primero, nos dará un color metámero respecto al blanco ó (w), es decir, metaméricamente la mezcla se percibirá como un blanco, por ello L_1 y L_2 se denominan complementarios respecto al blanco W.

$$L_1 + L_2 = L_w \quad (5)$$

Como la CIE ha especificado diferentes blancos patrones, figura 8, siempre que se hable de colores complementarios, y en general en toda medición, debe especificarse que blanco se considera. Como se comprende, esto también es importante al especificar colores complementarios ya que los blancos presentan diferentes espectros por lo que ocupan específicos lugares dentro del diagrama CIE: su locus es la curva que, en figura 12, se extiende desde el extremo rojo del espectro -pasando por el blanco de referencia- hasta los azules.

Pureza colorimétrica

Se denomina pureza colorimétrica, P_c , al valor definido por la relación entre la luminancia del color espectral L_λ , dividida por la suma de esta y la luminancia del blanco L_w :

$$P_c = L_\lambda / L_\lambda + L_w$$

Esta magnitud, netamente psicofísica, se especifica entre cero y la unidad correspondiendo cero al blanco y uno al color espectral. Originalmente, ella se obtuvo midiendo la diferencia apenas perceptible de la mitad de un campo bipartito, como el de figura 3, respecto a su otra mitad, cuando a un color espectral se va agregando blanco, o viceversa, manteniendo constante la luminosidad de la mezcla. Todo lo anterior podemos resumirlo diciendo: el aspecto de un color queda definido por su variable luminosa L y dos variable cromáticas, la longitud de onda dominante λ y la pureza colorimétrica P_c . Recordemos que también es común emplear la pureza de excitación, que es aquella que divide la distancia entre el blanco W y un color espectral λ en pasos iguales.

Síntesis tricromática u obtención de colores a partir de primarios

Como ya hemos señalado, un estímulo cromático cualquiera puede igualarse a la suma algebraica de tres estímulos primarios mezclados en adecuadas proporciones. La palabra algebraica es fundamental ya que indica que también pueden sumarse cantidades negativas como ocurrió en (4). Supongamos que, como estímulos primarios consideramos: 650, 530 y 425 nm a los que llamaremos R, G y B, según la nomenclatura inglesa. Si ahora con ellos queremos copiar un color C_1 y C_2 de luminancias x_1 y x_2 , para luego sumarlos, deberemos establecer las siguientes ecuaciones:

$$C_1 = x_1 C_i = u_1 R + v_1 G + w_1 B \quad \text{y donde la luminancia} \\ x_1 \quad u_1 \quad v_1 \quad w_1 \quad (5)$$

$$C_2 = x_2 C_i = u_2 R + v_2 G + w_2 B \quad \text{y donde la luminancia} \\ x_2 \quad u_2 \quad v_2 \quad w_2$$

Las cantidades u , v , y w son los flujos luminosos correspondiente a R , G y B respectivamente. Al sumar miembro a miembro C_1 y C_2 , se obtendrá C_3 :

$$(x_1 + x_2) C_3 = u.R + v.G + w.B$$

donde

$$u = u_1 + u_2; v = v_1 + v_2; w = w_1 + w_2 \quad (6)$$

En este cálculo se basa el sistema tricromático y toda la colorimetría.

Supongamos por último que el estímulo C contenga todas las longitudes del espectro visible en alguna proporción, en otras palabras posea un espectro continuo. Este quedará definido por su composición espectral de la siguiente forma:

$$x.C = m_1 \lambda_1 + m_2 \lambda_2 + m_3 \lambda_3 + m_4 \lambda_4 + m_5 \lambda_5 \dots \dots \dots + m_n \lambda_n$$

Esta ecuación en términos de R , G y B vendrá dada por:

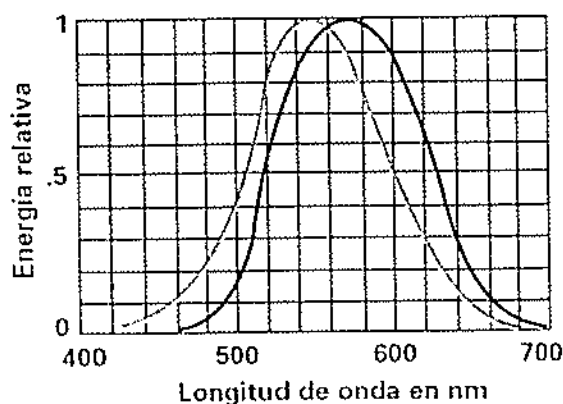
$$x.C = m_1/x_1 (u_1 R + v_1 G + w_1 B) + m_2/x_2 (u_2 R + v_2 G + w_2 B) + m_3/x_3 (u_3 R + v_3 G + w_3 B) + \dots \dots \dots + m_n/x_n (u_n R + v_n G + w_n B) = u.R + v.G + w.B$$

$$\text{donde } u = (m_1 u_1)/x_1 + (m_2 u_2)/x_2 + (m_3 u_3)/x_3 + (m_4 u_4)/x_4 \dots \dots \dots + (m_n u_n)/x_n$$

$$v = (m_1 v_1)/x_1 + (m_2 v_2)/x_2 + (m_3 v_3)/x_3 + (m_4 v_4)/x_4 \dots \dots \dots + (m_n v_n)/x_n$$

$$w = (m_1 w_1)/x_1 + (m_2 w_2)/x_2 + (m_3 w_3)/x_3 + (m_4 w_4)/x_4 \dots \dots \dots + (m_n w_n)/x_n$$

Figura 9
Función de luminosidad obtenidas por Wright. Su obtención consistió en igualar las luminosidades de cada longitud de onda con un blanco patrón empleando la técnica de parpadeo entre las dos fuentes. La experiencia finaliza para cada longitud de onda, cuando el parpadeo disminuye al mínimo como consecuencia de realizar la igualación subjetiva de la luminosidad de las dos fuentes. Los datos así obtenidos expresan que, para un



espectro de igual energía, la respuesta del ojo no es la misma y tampoco lo es si el patrón se encuentra a niveles fotópicos (curva de la derecha) o escotópicos (curva de la izquierda).

Nótese que el cálculo realizado precedentemente es similar al que realiza cualquier colorímetro de filtros para calcular la curva espectral del color.

Siguiendo igual metodología, también se definió la curva de sensibilidad espectral o $V\lambda$, figura 9, así como los valores triestímulos para un observador Patrón. En efecto, si cada λ se copia a partir de R , G , y B y se representan por separado estas mediciones es decir, todas las que corresponden a R , e ídem para G y B , se obtiene la figura 10.

Es importante resaltar que, como la ecuación de color de cualquier estímulo puede ser calculada a partir de tres primarios, si queremos

saber como está compuesto un color, basta con recurrir a las funciones de igualación de figura 10 y leer las proporciones de R , G y B que corresponden a dicho estímulo. Por ejemplo, para reproducir un color de 495 nm se necesita igual cantidad de azul y de verde y una cierta cantidad negativa de rojo.

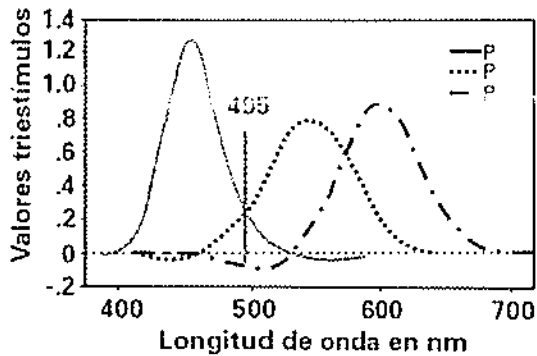


Figura 10
Funciones de igualación de color obtenidas por Wright (1928/9), empleando el colorímetro de figura 3, y considerando como primarios 460, 530 y 650 nm. Sobre la línea vertical puede leerse las cantidades necesarias para reproducir una longitud de 495 nm.

Figura 11
Carta cromática obtenida por Wright empleando como primarios 650, 530 y 460 nm. El asterisco indica el color espectral de 495nm que se obtiene representando sobre la abscisa la cantidad negativa de rojo y sobre la ordenada la cantidad de verde, ambas obtenidas de figura 10. Como se explicó, las cantidad de azul no se consignan ya que están implícitas al considerar que $r+g+b=1$

que estuvieran siempre por encima del eje de las abscisa en figura 10. Si bien esto evitaba el uso de números negativos en los cálculos, obligó a ubicar los primarios fuera del dominio de los colores reales. Esto carecía de importancia dado que se trataba de cálculos matemáticos donde cualquier acuerdo que se estableciera sería válido. Al primario rojo se lo designó con la letra X, al verde con la Y, y al azul con la Z, pasándose así del diagrama RGB al XYZ como se indica en la figura 12.

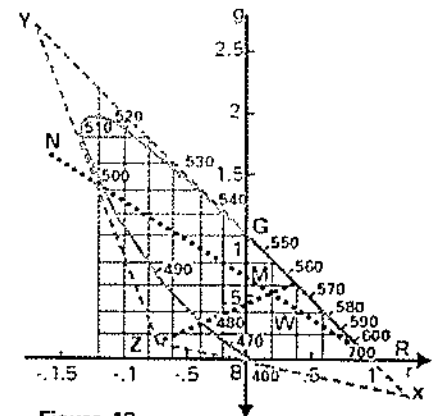
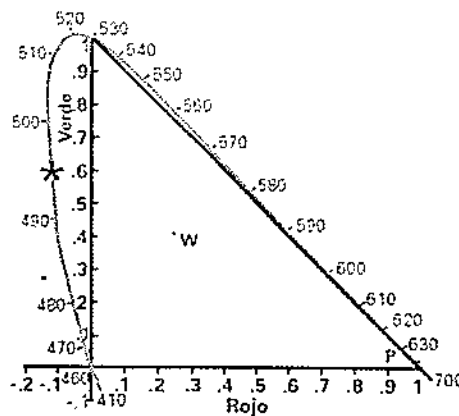


Figura 12
Conversión del diagrama RGB al XYZ

Seguidamente, se denominaron valores triestímulos a X, Y, y Z y coordenadas cromáticas -denotadas por minúscula- a cada uno de ellos divididos por la suma de los tres:

$$x = X / XYZ; y = Y / XYZ; z = Z / XYZ$$

Estas coordenadas permiten ubicar y nominar un color dentro de un plano de igual energía, con la ventaja de que solo dos coordenadas son necesarias para especificar la cromaticidad de la radiación. Esto se debe a que, como se indica en figura 13, al especificarse las coordenadas cromáticas de (Q) por las distancias a dicho punto siendo ellas perpendiculares a uno de los tres ejes del sistema, su suma será igual a uno. ($r + g + b = 1$) debido a que por una ley geométrica que dice que, la suma de distancias perpendiculares a los tres lados de un triángulo equilátero trazadas desde un punto es constante e igual a la altura del triángulo equilátero. Esta es la razón de por que solo dos coordenadas son necesarias para especificar un color. Ya que para la colorimetría la transformación del color es lineal y puede representarse como suma de tres vectores, como se indicó en figura 13, si cada vector en el espacio es identificado con tres incógnitas, un conjunto de 9 incógnitas permite pasar de un sistema a otro. Por ejemplo, el paso de rgb a x y z se resuelve mediante el siguiente determinante:

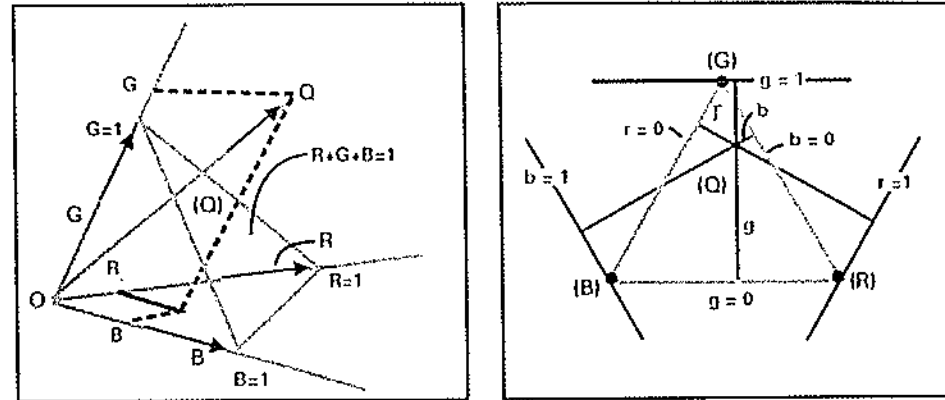


Figura 13

a) Diagrama de vectores indicando como la radiación Q puede ser igualada por una apropiada suma de tres vectores RGB. Los vectores de una unidad de intensidad forman el plano cromático, que en la figura es un triángulo. El vector triestímulo que caracteriza la radiación Q, intercepta dicho plano en el punto (Q).

b) Vista del plano cromático. Las coordenadas cromáticas de (Q) se especifican por las distancias a dicho punto siendo ellas perpendiculares a uno de los tres ejes. Por esta particularidad, la suma de ellas será igual a uno: $r + g + b = 1$

$$\begin{bmatrix} r \\ g \\ b \end{bmatrix} = \frac{1}{Y} \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ l \end{bmatrix} \quad (7)$$

asumiendo, que:

$$r + g + b = 1 \quad (8)$$

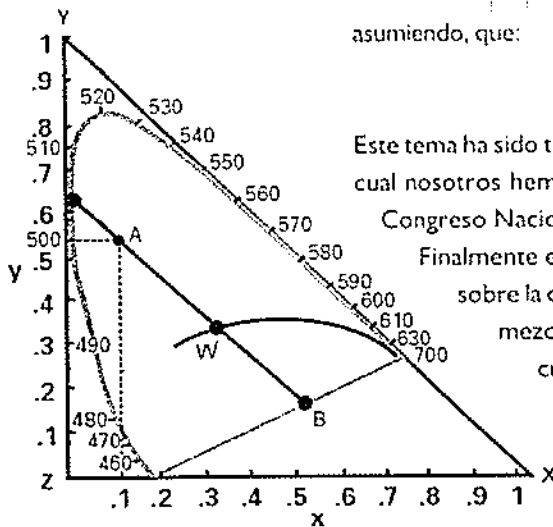


Figura 14

Diagrama de cromaticidad CIE 1931. El color B, complementario, tiene la misma longitud de onda que A, igual a 504nm. Las coordenadas cromáticas de A son: $0.10 + 0.54 + 0.36 = 1$. El alejamiento de A respecto al blanco W indica que se trata de un color de considerable pureza, pero de pureza inferior a B

Este tema ha sido tratado en un trabajo ya clásico escrito por Voss y Walraven (1970), del cual nosotros hemos realizado una síntesis que puede consultarse en las actas del IV Congreso Nacional de color (2000).

Finalmente el diagrama cromático CIE 1931 tomó la forma de lengua de *figura 14*

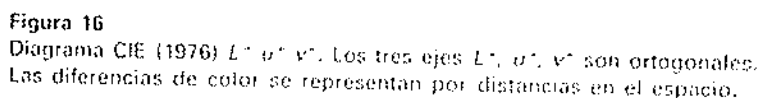
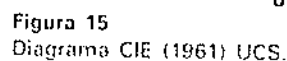
sobre la cual se representan los colores espectrales y los púrpuras compuestos por mezcla de rojo y azul. Como ejemplo, hemos ubicado el color A en la carta el

cual queda denotado por su longitud de onda dominante y su pureza. Nótese el locus de los blancos (w) que se ubicarán, según su temperatura de color referida al cuerpo negro, sobre la curva que desde el extremo rojo, pasa por el blanco dirigiéndose hacia los azules. Cabe nuevamente aclarar que la luminancia del color se especifica separadamente, y se

atribuye al valor de Y en la medición. Señalemos que el CIE 1931 no refiere a la percepción del color sino solo a la mezcla de colores. Por ello, y con la finalidad de crear una carta que tuviera en cuenta una escala de color uniforme, la CIE propuso otros diagramas.

Diagramas de cromaticidad uniforme UCS.

En el desarrollo de la colorimetría pueden distinguirse tres momentos: a) el dedicado a la igualación de color que acabamos de describir y que dió lugar al diagrama CIE 1931; b) los dedicados a la diferencia, y c) a la apariencia del color. A partir de 1960 la CIE propone los sistemas UCS, sigla que corresponde a las iniciales de escalas de cromaticidad uniforme (Uniform Color Space), en el siguiente orden:



- 1) CIE 1960 UCS, diagrama (u, v) representado en *figura 15*
- 2) CIE 1964 UCS, diagrama (W^*, U^*, V^*)
- 3) CIE 1976 UCS, digrama (u', v') que mejora el CIE 1960
- 4) CIE 1976 (L^*, u^*, v^*) representado en *figura 16*
- 5) CIE 1976 (L^*, a^*, b^*)

los dos últimos para ser empleados en caso de estimulación luminica, o para referir colores de superficie, respectivamente. Todos ellos se correlacionan a especificas formulas de diferencias de color, tema importante para la Industria del Color. Cabe hacer notar la ordenación en oponencia del CIE 1976, que muchos programas de computación adoptan. También, que estos nuevos sistemas se hallan correlacionados con el CIE 1931 mediante formulas de transformación. Por ejemplo la transformación de:

$$\begin{aligned} u &= 4x / (-2x + 12y + 3); \\ v &= 6y / (-2x + 12y + 3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u' &= 4X / (X + 15Y + 3Z) \\ v' &= 9Y / (X + 15Y + 3Z) \end{aligned}$$

$$L^* = 116 (Y/Y_n)^{1/3} - 16$$

siendo $Y/Y_n > 0,01$

$$u^* = 13 \text{ L}^* (u' - u'_0);$$

$$y^* = 13 \text{ L}^2 (u' - u'_-)$$

$$L^* = 116 (Y/Y_0)^{1/3} - 16$$

$$a^* = 500 [(X/X_0)^{1/3} - (Y/Y_0)^{1/3}];$$

$$b^* = 200 \left[(Y/Y_0)^{1/3} - (Z/Z_0)^{1/3} \right]$$

Como en los espacios de color, las variables se representan ortogonalmente, estas son transformaciones afín que, como ya señalamos, pueden resolverse mediante determinantes, con lo cual el paso de un sistema a otro no presenta gran dificultad (Kaiser y Boyton, 1996, Apéndice III)

No creemos necesario abundar más sobre este tema dentro del presente Manual, por ello solo quisiéramos agregar que desde 1991 el Comité Técnico de la CIE 1.34 se encuentra abocado en testear la bondad de modelos de apariencia de color. Si bien hasta el presente no se ha llegado a una conclusión final, debido al fuerte requerimiento de las industrias dedicadas a la tecnología de imágenes de contar con un modelo de apariencia de color para uso práctico, el Comité Técnico 1.34 decidió preparar dos modelos provisionales el CIECAT94LAB y el CIECAM97s, nuevamente uno aplicado a colores de superficie y el otro a luces. Para los interesados en el tema aconsejamos la lectura de Hunt, 1977, 78; Hunt, 1991; Nayatani et al, 1999; y Sobagaki et al, 1999.

La medición y fácil representación del color mediante coordenadas, dió precisión a estudios realizados en muy diferentes campos. En tecnología de los alimentos cabe citar, por ejemplo, el análisis del pardeamiento no enzimático que sufren azúcares, carnes, cereales, frutas, yerba mate y otros. En la industria vitivinícola la variación de color, es un índice del estado de los vinos. En oftalmología, los errores que se cometen al ordenar colores especificados en el diagrama CIE 1931, indican el tipo y grado de las anomalías a la visión del color, ya sean estas adquiridas o congénitas, sirviendo además para el seguimiento de la evolución de las mismas (Mattiello et al 2001). En iluminación, la determinación de los diferentes iluminantes se realiza en base a los mencionados diagramas. Obviamente en la industria del color, textil, cosmética, etc., se emplean cartillas de color generalmente referidas también a los Sistemas CIE.

CONSIDERACIONES SOBRE EL COLOR REFERIDAS AL DISEÑO

No queremos dejar de referirnos en estas notas al diseño ya que para muchos, es su hacer cotidiano. A diferencia de los que ocurre en pintura donde el color no sufre limitaciones, en arquitectura podemos decir que, al igual que en la Física, el color es indicativo de los cambios que puedan producirse tanto en la forma como en el espacio. Esto se debe a que la limitación del espacio se logra con materiales que poseen texturas y color. Así, materiales, texturas y color forman una triada que junto con la luz definen la apariencia de los edificios y de las ciudades.

A lo largo de la historia de la arquitectura, el uso de color ha predominado en ciertos periodos y en otros ha estado ausente. Puede decirse que en la antigüedad el color surgió en periodos de auge: en la antigua Grecia los templos eran policromados y los Romanos lo usaron para crear infinidad de ilusiones, siendo un claro ejemplo la ciudad de Pompeya. Durante la Edad Media, la austeridad de los muros en los templos contrastó con la vidriería plenamente coloreada; en el Renacimiento italiano predominó lo acromático; y en el Barroco el color. La arquitectura revolucionaria francesa del 1790 impuso formas básicas e instauró la idea de que la forma de un objeto es más importante que su color. El periodo de la Regencia y las Art Crafts, aportó nuevamente color a los ambientes, también desde el diseño de telas y papeles.

Como puede observarse, la idea de que la forma es más importante que el color, ha sido interrumpida por periodo donde el hombre necesitó expresarse, encontrar su identidad o diferenciarse de la monotonía y aún de la pobreza. Ejemplo de ello son las obras realizadas después de la segunda Guerra Mundial, periodo que trata de contrarrestar el austero entorno dejado por la guerra. Otro ejemplo es nuestro tradicional barrio de la Boca que refleja la nostalgia por la tierra lejana. Podemos en consecuencia decir que el color en arquitectura también depende de la posición filosófica que el diseñador tome frente a ella, y aún de su estado anímico. Pero resultará difícil llegar a una solución aceptable si no se reconoce que la luz es color, que el blanco también lo es, que el entorno siempre tendrá un color, y que los que habiten la arquitectura también aportarán lo suyo. Usar color en arquitectura no es sinónimo de *colorinche*, pero sí de ayuda a la forma y al espíritu para que ambos logren su mejor expresión.

Aceptado lo anterior, podemos afirmar que todo el potencial formal de un edificio debería apoyarse, desde un comienzo, en el uso del color y la luz. Para ello debe pensarse el proyecto y su construcción de un modo, si se aspira incorporar el color, y de otro diferente si se piensa permanecer al margen de él. En este caso, habría que considerar que elemento lo reemplazará, al menos en su función de segregar y organizar las formas y el espacio.

Otro aspecto a definir es la situación de estimulación que deberá atender el proyecto, ya que no es lo mismo diseñar un hospital que una discoteca. Esta necesidad responde al hecho de que nuestro sistema visual se ha perfeccionado para actuar en situación dinámica, ya sea de contraste, color, movimiento o forma, realidad que no siempre se tiene en cuenta al proyectar olvidando que lo monótono no es para la visión. Pensar sobre ello permite, por ejemplo, definir la continuidad en lo diverso o la variedad en la unidad, con el fin de lograr un orden visual estimulante dentro de un entorno dado. Trabajos agrupados generalmente bajo el título de *psicología del color* tienen en cuenta estos aspectos analizando el impacto que sobre el hombre ejercen espacios de diferente complejidad, y aún sobre la preferencia por el color que puedan tener los diferentes usuarios.

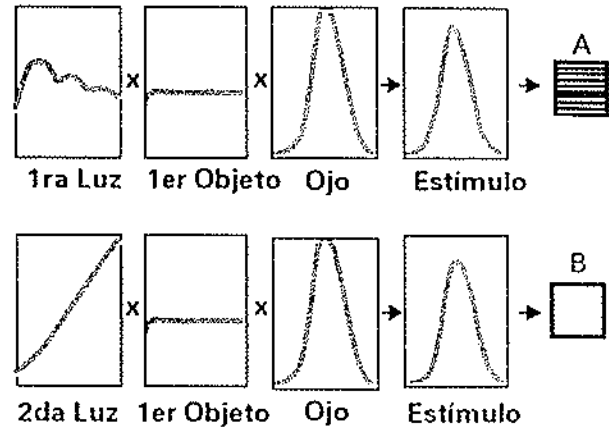
Sobre organización del color, un tema siempre candente pero sobre el cual no se puede pontificar, es bueno y prudente aprenderse de la naturaleza. En ella observamos que, sobre una amplia variación de verdes, o gama monocromática, aparecen pequeñas manchas de color intenso representadas por flores y frutos. El mismo cielo se llena de color al amanecer y al atardecer pero no en todo momento. Estos interludios sin color, sobre el cual se destaca el verdadero color, son un recurso interesante de explotar ya que aportan variedad y ritmo al conjunto. Al respecto no hay que perder de vista que los edificios pertenecen a una categoría de objetos diferentes al entorno natural que puede o no hacerle de fondo. En el primer caso una arquitectura acromática solo matizada por texturas, luces y sombras puede ser una buena solución para zonas cálidas, donde se cuenta con buen sol y como consecuencia interesantes sombras. La situación opuesta se da cuando el edificio esta inserto dentro de una ciudad con sus rascacielos, ausencia de cielo y aspecto gris. En estos casos, algo será necesario recrear con el color para evitar la monotonía. Para ello, deberá prestarse atención a la significación que se quiere dar al edificio dentro del entorno seleccionado, y cual será la elección de los materiales que quedarán visibles. No obstante, cualquiera sea el caso, el color de las superficies no se percibirá constante y variará de acuerdo a la estación del año, por efecto de la posición y duración del sol, y también por el punto de vista de donde el edificio sea observado siendo también estas circunstancias interesantes de considerar para explotarlas convenientemente.

De todos modos cuando la forma no es única y presenta diversidad de partes hay una mayor necesidad de diferenciación, acentuación y orden, y es allí donde la elección del color y la luz requerirá el empleo de criterios claros, como por ejemplo, preguntarse cuál será el color de base, que otros colores lo acompañarán y fundamentalmente en que proporción o área ellos serán empleados. También que iluminantes serán los apropiados para favorecer el diseño propuesto. Cuando los colores se empleen para acentuar o resaltar las formas, será conveniente definir que interludios acromáticos pueden ayudar al color y por extensión a la escena.

Sin embargo el color no se dará en ausencia de luz. Durante el día el color se encontrará poco condicionado debido a las características de la luz solar que no lo alteran en demasía. A la noche, los colores iluminados cobrarán una vida totalmente diferente que dependerá del tipo de fuente luminosa elegida y de las partes que estas iluminen a tal punto que pueden modificar la forma percibida. Al elegir la fuente apropiada deberá tenerse en cuenta que el color es una combinación del iluminante, del poder reflectante de las superficies y del estado visual del observador, como se trata de indicar en la *figura 17*. Cualquier mala elección o alteración de estos tres factores, modificará el resultado que pensamos obtener con la luz y el color.

Figura 17

Elementos que intervienen en la visión cromática: un iluminante, una superficie y nuestros ojos. La suma de estos tres componentes producirá un estímulo que referirá a un color determinado. Cambiando cualquiera de los tres elementos puede hacerse que el color A se iguale al color B, sin necesidad de que todos los componentes sean iguales. Estos colores serán iguales solo metaméricamente. Ello quiere decir que sus diferencias se pondrán en evidencia ante el cambio de cualquiera de los tres componentes.



Lo dicho es válido tanto para la iluminación de interiores como de exteriores, y por ello el buen manejo de estas variables es considerado un arte.

Resumiendo, podemos decir que el color, por su carácter preatentivo (*estímulos que se detectan espontáneamente y sirven de alerta*), ayudará a dirigir la atención y en consecuencia el reconocimiento y lectura de las formas. Por ello convendrá tener siempre presente que una mala elección de color comunicará mal la arquitectura y el espacio que ella genere, haciéndole perder identidad. El color ayudará a diferenciar las partes, a segregar las formas de sus fondos, a estabilizar las imágenes dándoles mayor pregnancia y, como consecuencia, haciéndolas más resistentes a los ruidos que pudieran interferir con ella. Será indicativo de situaciones y cambios, y ayudará a las transiciones formales. Evocará situaciones y apelará a lo cognitivo, quizás más que la misma forma. ■

BIBLIOGRAFÍA DE CONSULTA Aguilar Rico, M. 1995. Iluminación y color. España. Universidad Politécnica de Valencia, servicio de Publicaciones.
 Lozano, RD. El color y su medición. 1978. Buenos Aires, América Lee
 Wright, W.D. 1946. Research on normal and defective colour vision. Londres, Henry Kimpton.

BIBLIOGRAFÍA CITADA Kaiser, PK & Boynton, R. 1996. Human color vision. Optical Society of America, Washington, DC.
 Hunt, RWG (1977) The specification of colour appearance. I. Concepts and terms. Color Research & Application, 2, 55-68.
 Hunt, RWG (1978) Color Terminology. Color Research & Application, 3, 79-87.
 Hunt, RWG (1991) Measuring colour. 2nd Ed. New York: Ellis Horwood, p 213-258.
 Mattiello, MLF de y Echague, L. (2000) Conceptos matemáticos y fisiológicos del color. Actas ArgenColor 1998:307-316.
 Mattiello, MLF de, Maneiro, My Gastelú, R. (2001) Relation between retinal hypoxia and alteration of the chromatic vision in anemias and glaucomas. Color Research & Application 26, Suplemento, 277-280.
 Nickerson, D (1931) A colorimeter for use in the mixture. Journal of the Optical Society of America, 21, 640.
 Vos, JJ y Walraven PL (1970) On the derivation of the foveal receptor primaries. Vision Research, 11, 799-818.

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

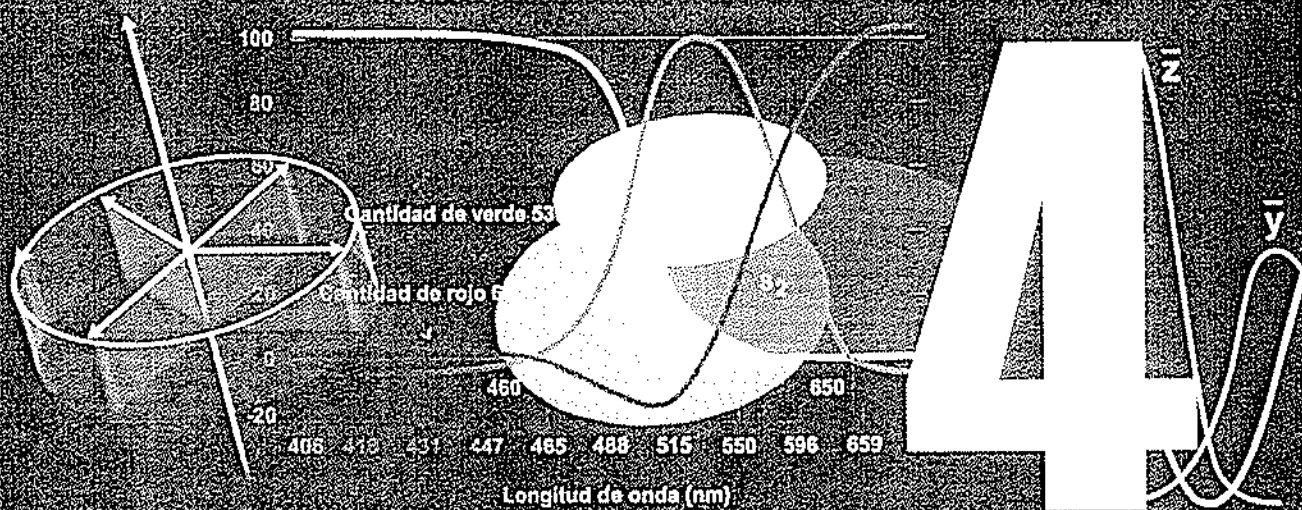
Notas

Notas

Notas

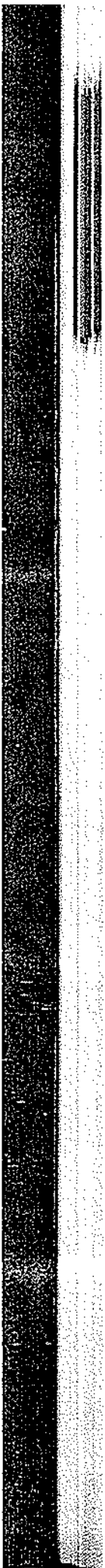
No

MAGNITUDES COLORIMETRICAS



CAPITULO

Autor:
Dra. Elisa Colombo



INTRODUCCION

El papel del color en la ciencia y en la tecnología tiene un relieve extraordinario. Campos muy disímiles dependen en gran medida de una adecuada resolución de problemas de color, como por ejemplo la industria de la pintura, tanto industrial como artística, de la fotografía, de embalaje y recubrimientos, en la arquitectura, alimentación, artes gráficas y textil, video y TV y obviamente la iluminación. En este sentido los arquitectos, ingenieros, diseñadores industriales y de interiores, los artistas, necesitan no solamente comprender el color sino disponer de un sistema de cuantificación.

La ciencia del color ha sistematizado y resuelto problemas apoyada en aspectos físicos y perceptuales, con una propuesta cuantitativa. Al introducir las cantidades fotométricas ha sido necesario hacer referencia a la composición espectral de la luz que recibe el ojo e introducir las funciones de sensibilidad espectral relativa del ojo en condiciones fotópicas y escotópicas.

La colorimetría, aunque es una técnica conveniente y necesaria para la comunicación entre usuarios del color en diversos campos de trabajo, se construye sobre expresiones físicas muy simplificadas del comportamiento del ojo humano y del cerebro, y por lo tanto no puede esperarse un buen acuerdo con todas las observaciones subjetivas.

Definiciones

Se requieren definiciones cuidadosas para evitar la confusión que proviene de que el término "color" tiene distintos significados al ser usado en forma cotidiana.

El Comité de Colorimetría de la Sociedad Óptica de América ha dado una definición del color: "El color consiste en las características de la luz que se diferencian de las inhomogeneidades espaciales y temporales".

El color percibido pertenece a un objeto o fuente de luz y se refiere a una percepción instantánea, depende de la interacción de factores complejos: las características del objeto y de la radiación incidente sobre el mismo, los alrededores, la dirección de visión, las características del observador y las condiciones de adaptación del observador.

Las características del objeto, de la luz y del medio e incluso del observador pueden variar tanto espectral como direccionalmente, cada una en una manera diferente. Influye también el tiempo de observación, la percepción anterior a esta observación, así como la atención prestada a la observación.

El color, también llamado *color psicofísico* está definido como la característica de la luz por la cual un observador puede distinguir entre zonas iluminadas de igual tamaño, forma y estructura. Se reduce así a una descripción de la luz en términos de la cantidad de energía radiante para cada longitud de onda del espectro.

El color de un objeto se define por el color de la luz reflejada o transmitida por un objeto cuando es iluminado por una fuente de luz estándar. Sin embargo, con frecuencia la palabra *color* se usa para cubrir cualquiera de estos significados.

Dos campos iguales en tamaño, forma y estructura, fondo y con igual luminancia, pero con diferentes combinaciones de longitudes de onda, se diferenciarán solamente por su color. En este caso el color depende únicamente de la distribución espectral de la luz. Si prevalecen longitudes de onda largas del espectro visible, la luz se percibirá roja, si prevalecen las de medio el espectro la luz se percibirá amarilla/verde o si esta concentrado en las bajas longitudes de onda se percibirá un azul. Si se combinan todas las longitudes de onda del espectro visible, en aproximadamente cantidades iguales, el ojo percibe una luz color blanca, como la del sol.

Atributos del color

En virtud de lo dicho, el color está definido, en buena medida, por la composición espectral de la radiación que llega al ojo. En buena medida pues, además, como ya se dijo hay que tener en cuenta los procesos de adaptación del sistema visual que conducen a los fenómenos de contraste simultáneo y efectos posteriores.

Comparar diferentes distribuciones espectrales no es una tarea sencilla: dos colores iguales desde el punto de vista perceptual pueden tener composiciones espectrales distintas que el ojo no es capaz de diferenciar. Dos colores que parecen iguales, pero cuyas composiciones de intensidad espectral son diferentes, se denominan **metámeros**. En la **figura 1** se muestran tres distribuciones de intensidad espectral que podrían percibirse como iguales a un amarillo. En (a) se trata de la distribución espectral de una fuente amarilla monocromática, en (b) la mezcla aditiva de dos fuentes monocromáticas, una verde y otra roja y en (c) la mezcla aditiva de dos fuentes roja y verde no monocromáticas.

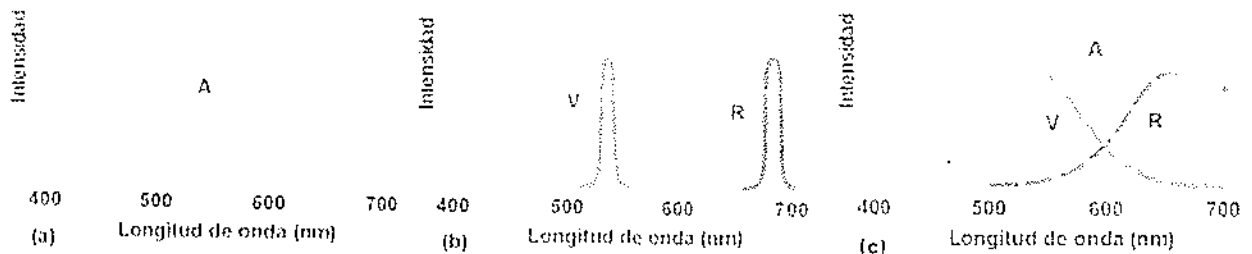


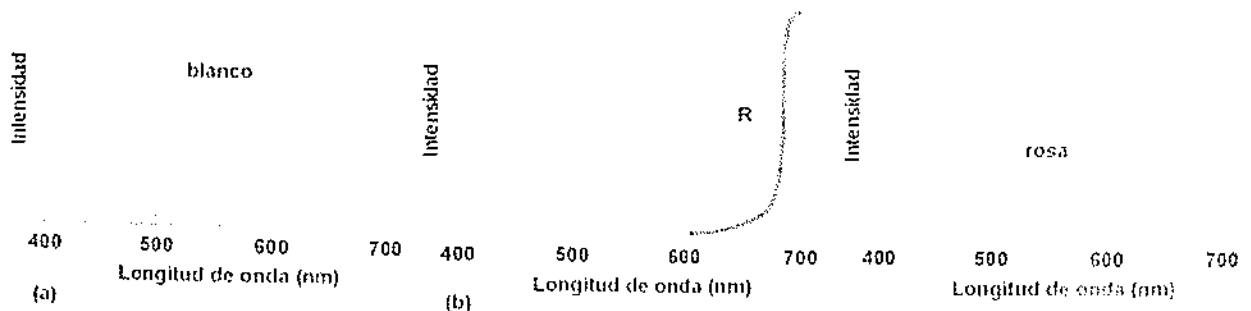
Figura 1
Curvas de distribución espectral de
a) una fuente amarilla monocromática,
b) dos fuentes monocromáticas, verde y roja y
c) dos fuentes no monocromáticas, verde y roja.

La apariencia de un campo iluminado coloreado puede ser descrito por tres atributos perceptuales: **tono**, **saturación** y **claridad**.

El **tono** está asociado al color predominante, sea este espectral o no, es decir es el atributo asociado con el nombre de los colores básicos: rojo, amarillo, naranja, verde, azul o púrpura. En general, se describe el tono por la longitud de onda del color dominante aunque el mismo no esté presente. En las figuras 1b y 1c el color dominante es el amarillo y sin embargo no está presente. En el caso de un color no espectral como el púrpura, que resulta de una suma de luces rojas y azules, que no se corresponde con una longitud de onda, el tono se describe como la longitud de onda de su color complementario.

La **saturación** corresponde a la pureza del color que determina el tono. Un color monocromático espectral tiene la mayor saturación, mientras la luz blanca, es una luz completamente no saturada. La mezcla de una pintura gris con otra de color rojo espectral puro, en distintas proporciones, permite obtener una serie de colores que se diferencian en la saturación.

Figura 2
Curvas de distribución espectral de a) luz blanca,
b) luz monocromática roja y
c) luz no saturada de luz roja con blanca



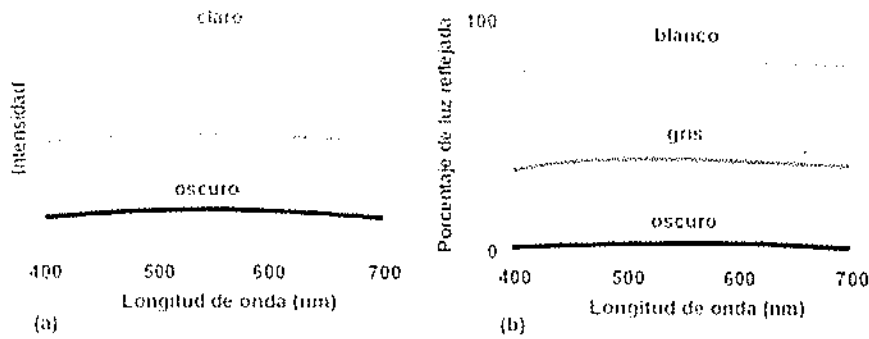


Figura 3

a) Curvas de distribución espectral de una fuente para tres niveles distintos de intensidad.
b) curvas que reflectancia espectral para tres superficies distintas.

se refiere a la cantidad de luz. Un mismo objeto puesto al sol o a la sombra solamente se diferencia por su claridad. Es una magnitud perceptual asociada al nivel de la intensidad que emite una fuente de luz *figura 3a*, o a la proporción de la luz incidente que es reflejada en el caso de objetos *figura 3b*. En el aspecto físico la claridad está asociada con la luminancia. El tono y la saturación se llaman atributos de cromaticidad. Los colores grises son acromáticos y las luces monocromáticas son saturadas. El gris es el color que no presenta otro atributo que la claridad lo que permite hacer una escala de grises que tiene como límites al blanco y al negro.

La representación y la medición del color

Existen dos maneras de representar el color de la luz: el atlas de color y el sistema colorimétrico de la CIE.

El sistema Munsell

El atlas de color es una representación en las tres dimensiones del espacio de color, asociadas a los tres atributos perceptuales mencionados y su objetivo es clasificar los colores de manera que puedan ser evaluados y comunicados. En el Sistema de color Munsell (IES, 1993), uno de los más usados, la posición de cualquier color se identifica con un código alfanumérico que tiene tres términos que indican el tono, un valor de claridad y un nivel de saturación.

La escala de los tonos consiste de 100 divisiones en un círculo que contiene cinco tonos principales (rojo, amarillo, verde, azul y púrpura), cinco intermedios (rojo/amarillo, amarillo/verde, verde/azul, azul/púrpura, púrpura/rojo). La escala de claridad en el eje vertical va desde 1, que corresponde al negro, hasta el 10, que indica el blanco.

La escala de saturación, que se indica radialmente, crece desde el centro con un valor de cero, saturación neutral, hasta alcanzar la saturación máxima, que se indica con el valor 20. En la *figura 4* se presenta un diagrama de esta representación.

Un catálogo de colores derivado del sólido de color mencionado, y con tantas subdivisiones de sus escalas como sea necesario, sería suficiente para especificar un color, pues bastaría comparar la muestra con los colores del catálogo y asignarles las coordenadas de su igual. Esto es lo que se hace corrientemente en la industria cuando no se requiere gran exactitud. En general, para identificar pinturas, materiales de construcción, plásticos, cerámicos se usa un atlas del tipo descripto. Sin embargo, sería imposible hacer un catálogo con todos los colores diferentes que puede distinguir el observador humano normal, pues subdividiendo las tres escalas del atlas en todos los escalones perceptibles, se calcula que el hombre puede distinguir hasta 10 millones de colores.

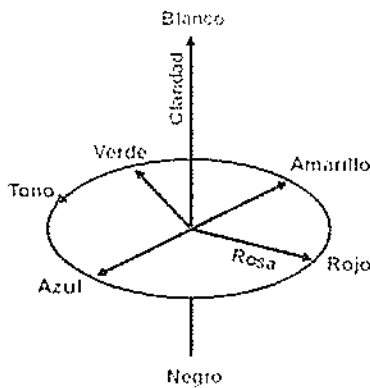


Figura 4

Representación tridimensional del color: cada color viene representado por un punto especificado por tres números.

Por ello, cuando se quiere caracterizar el color de una luz o una superficie, de manera que se le pueda asignar una denominación inequívoca, y que esta denominación permita reproducirlo con toda exactitud, se recurre a las mediciones del color a partir del método de las mezclas, que conducen a los diagramas de cromaticidad.

El sistema colorimétrico CIE (1971) parte de la base de que la mayoría de la gente tiene respuestas al color muy similares y que casi cualquier color puede ser igualado por una combinación de no más de tres longitudes de onda que descansan en las regiones del azul, el verde y el rojo. Un desarrollo completo de este sistema se encuentra en la literatura (Wyszecki G & Stiles, 1982; IES 1993).

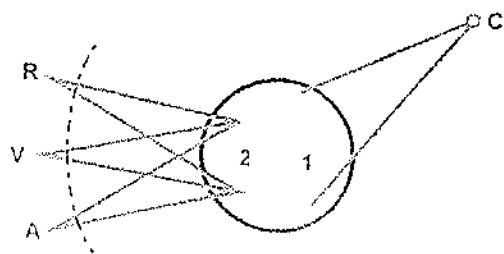


Figura 5
Esquema de la experiencia
sobre igualación de luces.

Ecuaciones tricromáticas y la representación gráfica del color

Es posible diseñar una experiencia para reproducir el color de una luz, que se designa con C , mezclando tres luces simples, espectralmente puras, tomadas de tres zonas del espectro continuo, una de la zona del rojo que se designa por R , otra de la zona verde del centro del espectro que se designa por V , y otra de la zona de los azules que se designa por A , de longitudes de onda λ_R , λ_V y λ_A . Sobre la mitad de un disco blanco difusor se envía un flujo de luz, c , de la luz C , y sobre la otra mitad se envía flujos variables de las luces R , V y A , como se indica en la figura 5, hasta que se produzca la igualación visual de las dos partes de la zona del estímulo. Si dicha igualación se ha producido al superponer flujos de luz l de R , m de V y n de A , entonces:

$$c C = l R + m V + n A$$

Esta ecuación se llama ecuación tricromática y los coeficientes c , l , m y n representan magnitudes fotométricas del mismo tipo, como luminancia por ejemplo, y debe cumplirse lógicamente que:

$$c = l + m + n$$

pues, cuando se produce la sensación visual, los flujos luminosos que se reciben, provenientes de los dos campos, deben ser iguales puesto que han sido igualados no solamente en color sino también en claridad.

Los números l , m y n se llaman componentes tricromáticas de c . A veces ocurre que un color $c' C$ no se puede igualar con ninguna combinación de flujos de los tres primarios, sin embargo, cuando esto sucede es posible, añadiendo uno de los primarios sobre C (el que convenga en cada caso), igualar la mezcla de estas dos luces con una mezcla en proporciones adecuadas de los otros dos primarios. A modo de ejemplo:

$$c' C + l' R = m' V + n' A$$

o lo que es lo mismo:

$$c' C = -l' R + m' V + n' A$$

Se ha introducido así una cantidad negativa de uno de los colores componentes, de manera de clarificar el hecho de que un término negativo en una ecuación tricromática no significa una verdadera resta. El significado es que la igualación visual se produce superponiendo la luz que representa el término negativo al otro miembro.

Las mezclas aditivas de luces, a los efectos de producir sensaciones cromáticas, pueden representarse por leyes dadas por Grassman en 1853.

Las mismas establecen:

Si el color de la luz A es igual al color de la luz B aún cuando ambas luces tengan distinta composición espectral, y el color de la luz C es igual al color de la luz D, aunque éstas tengan entre si también distinta composición espectral, la mezcla de las luces A y C iguala en color a la mezcla de las luces B y D, es decir, que luces de igual color producen los mismos efectos en las mezclas. Simbólicamente puede escribirse:

$$\begin{aligned} A &= B \\ D &= C \\ A + C &= B + D \end{aligned}$$

Cuando la suma de luces produce deslumbramiento o se opera a nivel escotópico, estas leyes pierden su validez.

Con estos supuestos, si en la ecuación tricromática se dividen ambos miembros por $(l+m+n)$ se obtiene la ecuación unitaria del color:

$$I C = r R + v V + a A$$

siendo:

$$r = l / (l+m+n), v = m / (l+m+n), a = n / (l+m+n)$$

Figura 6
Suma de luces azul, verde y rojo.

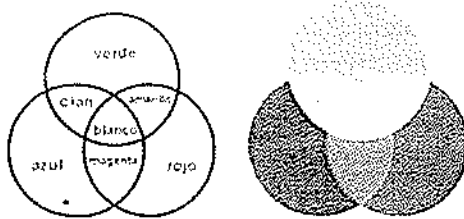


Figura 7
Curvas de distribución espectral de una mezcla de luces azul, verde y rojo cuyo resultado es un color blanco

donde r , v y a se llaman coeficientes tricromáticos del color C o también coordenadas tricromáticas.

En la **figura 6** se muestra la suma de tres luces de colores, roja, azul y verde, en proporciones apropiadas, obteniéndose blanco. En la **figura 7** se muestran las curvas de distribución de intensidades de tres fuentes, azul, verde y roja, que sumadas dan blanco.

Dados tres colores monocromáticos: un rojo ($\lambda = 650\text{nm}$), un verde ($\lambda = 530\text{nm}$) y un azul ($\lambda = 460\text{nm}$), es posible igualar cualquier color monocromático pero aceptando, como se dijo, que se pueda sumar una cantidad negativa, lo que en realidad implica sumar esa cantidad al color que se busca. La **figura 8** indica las cantidades relativas que se necesitan

para cada color buscado. Por ejemplo, para obtener un amarillo con $\lambda = 570\text{nm}$, debe agregársele una pequeña cantidad de azul (un valor negativo en el gráfico) y entonces sumando un porcentaje de rojo y de verde se obtendrá el color buscado. Las cantidades pueden extraerse de la figura, obteniéndose: 36% rojo, 66% de verde y 2% negativo para el azul para igualar al particular amarillo seleccionado. En realidad, bastaría con conocer dos de estas curvas, pues la suma tiene que dar 100%.

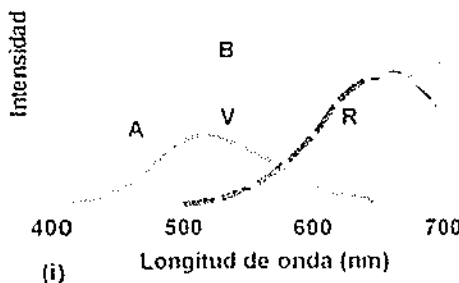
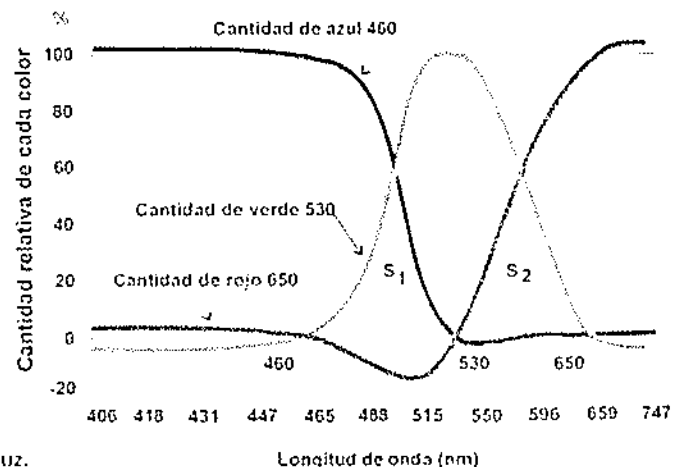


Figura 8
Cantidades relativas de tres colores ($\lambda = 460\text{nm}$ azul, $\lambda = 530\text{nm}$ verde, $\lambda = 650\text{nm}$ rojo) necesarias para igualar cualquier color monocromático (espectral). Las mismas son curvas estandarizadas pues los datos reales varían según el observador y la intensidad de la luz.



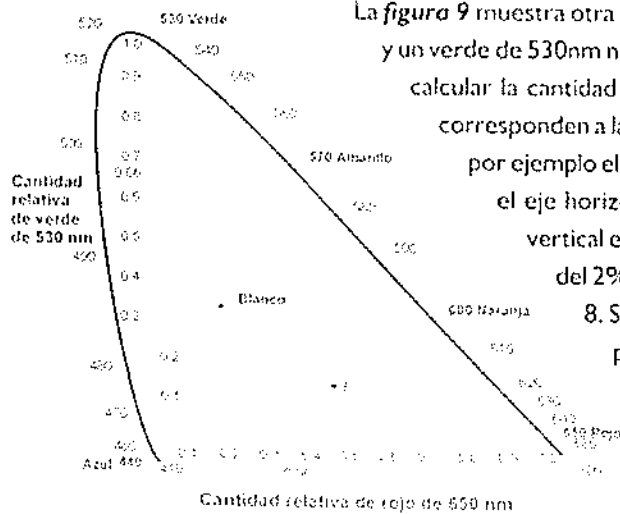


Figura 9
Curva con forma de herradura de caballo que muestra la ubicación de los colores espectrales y no espectrales a ser igualados.

La **figura 9** muestra otra manera de graficar las cantidades relativas de un rojo de 650nm y un verde de 530nm necesarias para igualar cualquier color, y de estos valores se puede calcular la cantidad relativa de un azul de 460nm. Los puntos sobre la herradura corresponden a la ubicación de los colores espectrales y eligiendo uno cualquiera, por ejemplo el mismo amarillo de $\lambda = 570\text{nm}$, se obtienen sus componentes: en el eje horizontal se encuentra el valor de 0.36 (36% del rojo) y en el eje vertical el valor de 0.66 (66% del verde), obteniéndose un valor negativo del 2% para el azul. Esta curva contiene toda la información de la figura 8. Se elige esta representación, que puede parecer más complicada, pues en este nuevo diagrama las reglas aditivas del color son fácilmente expresadas: "las mezclas aditivas de dos colores descansan sobre una línea recta que une los mismos". Las regiones dentro de la herradura corresponden a los colores no saturados. Además, la mezcla de rojo con azul da

un color púrpura o magenta, de manera que la región que une en forma transversal la parte inferior de la herradura será la ubicación de los colores púrpuras.

Dos colores que sumados dan blanco se llaman colores complementarios. Así el azul y el amarillo, el rojo y el cian, y el verde con el magenta, son complementarios. Supongamos que a partir de un amarillo de $\lambda = 570\text{nm}$ se va sumando un azul de $\lambda = 460\text{nm}$. El color resultante descansa en la línea recta que une estos dos puntos y depende de la proporción de cada uno. En algún lugar entre estos dos puntos descansa el punto correspondiente al blanco, ya que, como se dijo, amarillo y azul son complementarios. Una mezcla apropiadamente balanceada de los dos da blanco. De aquí el blanco descansa en la zona central del diagrama.

Conociendo la ubicación del blanco, se puede encontrar el complementario de cualquier color con la siguiente regla: "el complementario de cualquier color se encuentra en la línea que une ese color a través del blanco y el lado opuesto de la herradura". El punto blanco descansa aproximadamente donde los tres colores, el rojo, el verde y el azul, contribuyen igual y su exacta ubicación depende del blanco elegido. Para superar cualquier tipo de ambigüedad se elige un iluminante blanco estándar. Para ello se ha establecido un acuerdo internacional sobre los iluminantes patrones (CIE 1972, 1978a). Si se quiere conocer el tono de un color F en el diagrama, se dibuja una línea recta desde el blanco, a través del F, hacia la zona espectral de la herradura. La intersección de aquella línea con la herradura es la ubicación del color saturado correspondiente, la longitud de onda dominante o tono. Si el tono de F es púrpura, siguiendo la línea a través del blanco, cortará a la herradura en el verde, y dará la ubicación de la longitud de onda del complementario, el que define el tono del púrpura. En sentido inverso, usando los tres colores, 650nm rojo, 530nm verde y 460nm azul, se puede obtener cualquier color dentro del triángulo sin usar contribuciones negativas.

Estos tres colores, rojo, azul y verde, constituyen la mejor elección pues dan el triángulo más grande que se puede obtener dentro de la herradura, de manera de tener la mayor variedad de colores sin contribuciones negativas, es decir, la mayor cantidad de colores que se pueden obtener físicamente con tres colores. Esta es la explicación de por qué los colores rojo, azul y verde se llaman los **colores primarios aditivos**.

Esta es la razón también por la que se eligen estos colores para los fósforos de la TV, ya que trabaja por mezcla aditiva de colores, tan saturados como los fósforos lo permiten.

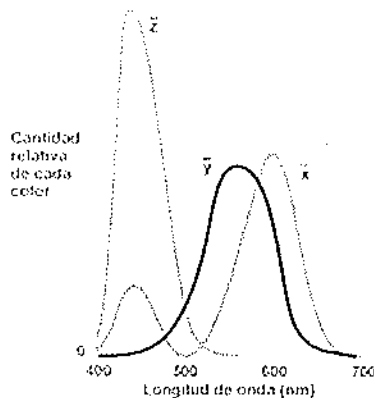


Figura 10
Cantidades relativas de los tres triestímulos necesarios para igualar cualquier color monocromático (espectral).

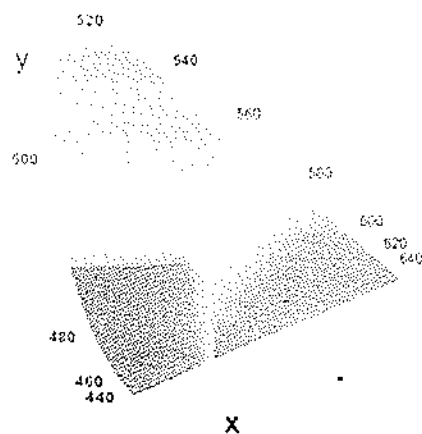
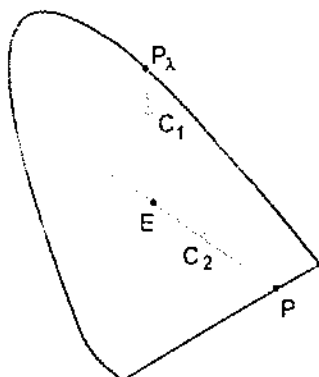


Figura 11
Diagrama de cromaticidad CIE. Curva con forma de herradura de caballo que muestra la ubicación de todos los colores y la forma de obtenerlos.

Figura 12
Especificación de la pureza



Por supuesto, aún usando los colores primarios, no se pueden igualar todos los colores espectrales. Sin embargo, para la mayoría de los propósitos esto no es importante, porque la mayoría de los colores de la naturaleza son no saturados.

A partir de estas ideas la CIE (1971) ha desarrollado el sistema colorimétrico CIE basado en tres "colores" imaginarios, posibles matemáticamente aunque no físicamente, llamados "valores triestímulos", en lugar del rojo, el azul y el verde **figura 10**. Con estos tres nuevos primarios $\bar{x}$, $\bar{y}$, $\bar{z}$, se obtiene el diagrama de cromaticidad de la CIE, que se muestra en la **figura 11** en cuyos ejes horizontal y vertical se representan las cantidades relativas x e y , de dos de los primarios, necesarios para igualar cualquier color. Este par de valores (x, y) es llamado "cromaticidad del color" y a partir de ellos se puede calcular la cantidad relativa, z , del tercer primario. Dejando de lado estos detalles, este diagrama tiene las mismas propiedades que el de la **figura 9** pero con la característica fundamental de que en este sistema es posible igualar cualquier color con combinaciones positivas de ellos. Con estos colores:

1. el blanco se encuentra en la vecindad del punto equienergético, dependiendo su ubicación exacta del estándar elegido,
2. las mezclas de colores se encuentran en la línea recta que une los dos colores de interés,
3. los colores complementarios se encuentran extendiendo una línea desde el color en cuestión hacia el lado opuesto de la herradura espectral pasando a través del blanco,
4. los colores saturados están sobre el perímetro de la herradura
5. los colores no saturados están en la zona interior de la herradura
6. los colores púrpuras saturados están en la línea que cierra en la base a la cerradura

Este sistema permite conocer las coordenadas cromáticas (x, y), si se conoce la distribución energética espectral, de una luz cualquiera, que nombramos como C . Si lo que interesa es el color de un cuerpo que presenta absorción selectiva cuando se ilumina con el iluminante C cualquiera, bastará hallar la curva de reflectancia energética a lo largo del espectro visible de manera que la composición espectral de la luz reflejada por el cuerpo cuando se ilumina con ese iluminante será la del reparto energético del mismo multiplicado sus ordenadas (C_λ) en las distintas longitudes de onda por los correspondientes factores de reflectancia, p_λ , es decir $C_\lambda p_\lambda$. El flujo luminoso total de la luz reflejada se expresa como un tanto por ciento de la incidente.

Para entender colores por transmisión, se procede de la misma manera considerando en lugar de los factores de reflectancia espectral los de transmitancia.

Especificación de la longitud de onda dominante - pureza

En este diagrama también se puede especificar un color C_1 **figura 12** teniendo en cuenta que éste, como cualquier otro, puede obtenerse por mezcla de blanco E con otro color puro P_λ (reproducción por blanco + color). Cuánto más cerca esté C_1 de P_λ , más puro será; cuánto más cerca de E , más saturado.

La pureza, P , de un color C_1 se define como el cociente de los segmentos:

$$P = EC_1 / EP_\lambda$$

Un color como el C_1 resulta de mezclar el blanco E con un color púrpura saturado, que no es un color espectral puro, y en este caso la pureza se define como:

$$P = EC_1 / EP$$

Los colores alineados con el blanco E son los que mezclados por parejas en adecuadas proporciones pueden dar blanco constituyendo como ya se dijo los colores complementarios.

Otros Sistema CIE

El sistema descrito hasta aquí, el sistema CIE_(x,y) 1931, especifica cromaticidades y brinda reglas precisas de mezcla de colores, a través de los índices x e y, pero no da cuenta del atributo de luminosidad, que es de gran importancia como atributo psicofísico del color. La CIE (1971, 1972, 1978a), con el propósito de proveer una caracterización precisa del color, ha desarrollado dos espacios del color de tres dimensiones basados en relaciones matemáticas aplicadas a las distribuciones espectrales, que se simbolizan por L_{ab} y L_{uv} , que permiten cuantificar el color. El primero se usa para cuantificar el color de objetos y el segundo para fuentes luminosas u objetos auto luminosos. Si dos colores tienen las mismas coordenadas en uno de estos espacios de color ellos se percibirán iguales. La distancia entre dos colores en este espacio está relacionada con la facilidad con que estos dos colores pueden ser diferenciados.

Dependencia del color de los objetos con la fuente de luz

Como se ha dicho anteriormente, el color de la luz reflejada por un objeto depende del color de la luz que lo ilumina. Este efecto forma parte de la experiencia cotidiana en vías de tránsito iluminadas con lámparas de sodio cuya emisión es pobre en componentes verdes y rojas haciendo que los objetos aparezcan casi sin color.

La curva de reflectancia de los objetos indica la fracción de luz incidente que se refleja para cada longitud de onda. Por lo tanto, si se conoce la curva de distribución de intensidades de la luz incidente, se necesitará solamente multiplicarla por la curva de reflectancia para lograr la curva de distribución de intensidades de la luz reflejada. En la figura 13 se muestra el ejemplo de un objeto que al ser iluminado con luz fluorescente blanca fría pierde toda tonalidad.

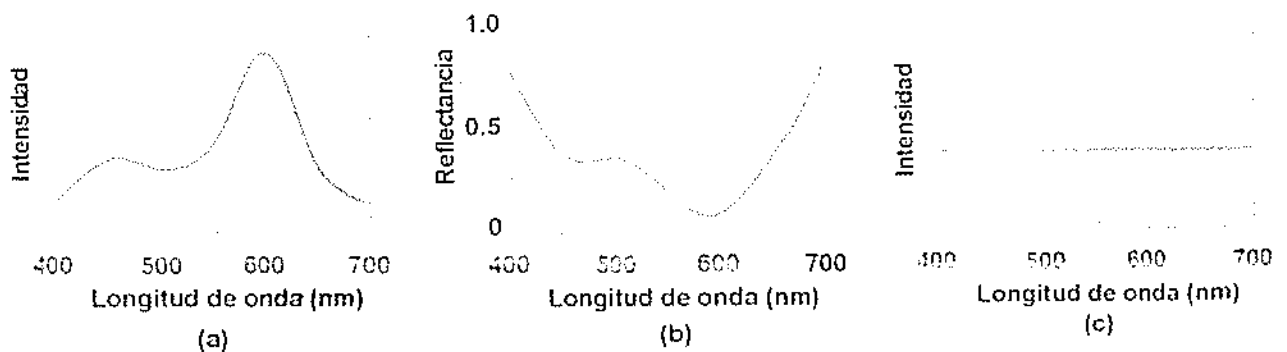


Figura 13

a) Curva de distribución de intensidad de un tubo fluorescente blanco frío. b) Curva de reflectancia de un objeto magenta. c) Curva de distribución de intensidad de la luz reflejada por el objeto bajo iluminación de a).

En consecuencia, las propiedades substractivas de un objeto, su curva de reflectancia o transmitancia, indica cómo afectará en el color percibido el tipo de iluminación que se utilice. El mismo objeto puede lucir diferente según la naturaleza de la fuente con que se ilumine. Aún si dos fuentes de luz parecen iguales, un objeto puede parecer diferente al ser iluminado por ellas. Esto se debe a la distinta composición espectral de las dos fuentes.

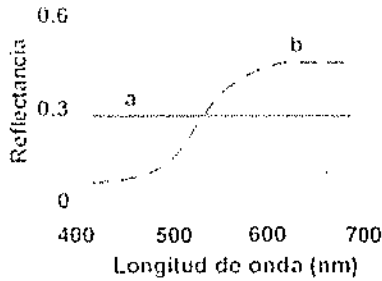


Figura 14
Curvas de reflectancia de dos telas diferentes. Bajo la luz del sol a) parece gris y b) marrón, pero bajo luz incandescente, ambas tienen la misma tonalidad.

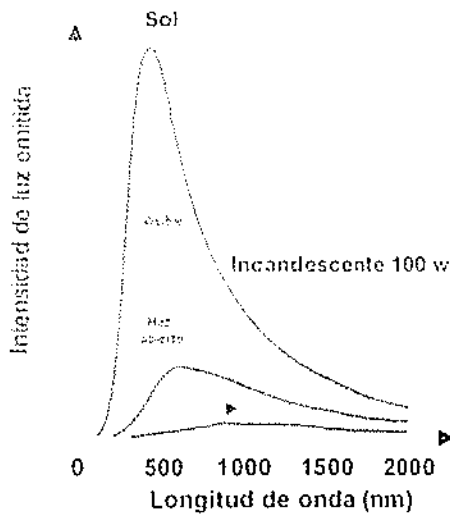


Figura 15
El espectro de un cuerpo negro a las temperaturas de tres fuentes conocidas: una lámpara incandescente de 100 W, una lámpara de haz ancho y el sol.

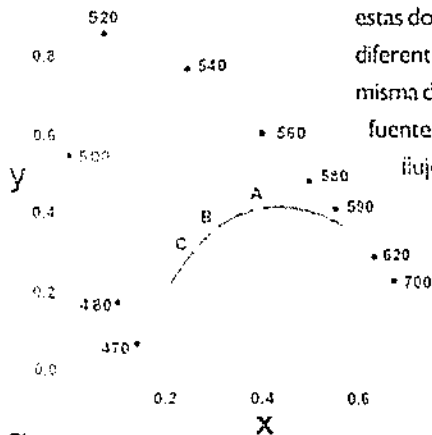


Figura 16
Posiciones de tres fuentes estándares blancos: A: incandescente de tungsteno (2.854°K), B: luz del sol al mediodía (4.870°K) y C: filamento de tungsteno filtrado a "luz día" (6.770°K).

Por ejemplo, si una fuente de luz blanca consiste de dos bandas angostas de color complementario, digamos cian y rojo, los objetos iluminados por esta fuente pueden tener solo uno u otro color, o una mezcla, de estos colores, dependiendo de su propia curva de reflectancia; en cambio si la fuente de luz blanca tiene una curva de distribución amplia, los objetos lucirán más naturales. Un ejemplo de interés se ilustra en la **figura 14**: se muestra las curvas de reflectancia espectral de dos objetos, que parecen diferentes bajo la luz del sol y sin embargo tienen la misma tonalidad si son iluminados con luz incandescente, que tienen menos aporte de las longitudes de onda cortas del espectro visible.

Temperatura de color y temperatura de color correlacionado

Es bien conocido que la mayoría de los cuerpos cuando se calientan a temperaturas suficientemente altas emiten luz roja y que a medida que la temperatura aumenta la luz emitida se vuelve cada vez más blanca, llegando incluso a parecer azulada.

El sol y la producción de luz por incandescencia son dos ejemplos de fuentes cuya emisión depende de la temperatura. Los fenómenos de radiación térmica fueron explicados en forma completa con la formulación de los principios cuánticos a principios de siglo XX, cuando se explicó la curva de distribución espectral para un radiador completo, cuerpo negro, un cuerpo que absorbe toda la radiación que llega a él. En la **figura 15** se muestran las curvas del cuerpo negro para las temperaturas de operación de tres fuentes: una incandescente de 100W, una fuente de haz ancho y el sol, y se ve que cuánto más caliente está el objeto mayor radiación y mayor predominio de las luces de longitudes de ondas cortas. Una fuente fría emite casi exclusivamente en el infrarrojo.

Las fuentes de amplio espectro son frecuentemente clasificadas por su *temperatura de color*, es decir, la temperatura de un cuerpo negro cuyo color iguala al de la fuente en cuestión. En el diagrama de cromaticidad de la CIE, en la **figura 16** se muestra la ubicación de los colores de fuentes incandescentes para distintas temperaturas y se muestran las posiciones de tres fuentes estándares blancos:

A: incandescente de tungsteno (2.854°K), B: luz del sol al mediodía (4.870°K) y C: filamento de tungsteno filtrado a "luz día" (6.770°K). Dos fuentes de luz con la misma temperatura de color parecen iguales.

Aunque, como ya se dijo, un objeto coloreado puede lucir diferente cuando está iluminado con estas dos fuentes, que parecen iguales, debido a que su curva de distribución de intensidades es diferente. Pero casi todas las fuentes incandescentes de la misma temperatura de color tienen la misma distribución de intensidades. Esta es una manera conveniente de estandarizar este tipo de fuentes. Por ejemplo en un estudio de TV las cámaras se balancean para una temperatura del

flujo luminoso de 3.200°K, si se quiere oscurecer la iluminación del estudio, no se puede hacer simplemente disminuyendo la temperatura de la fuente pues cambiaría el balance de color haciéndose más rojiza. Aunque estas variaciones podrían no ser evidentes para los actores, pues sus ojos se adaptan, si lo serían para los usuarios de TV en sus casas que compararían este color con el de la iluminación de sus casas. Consecuentemente las luces en un estudio de filmación de TV se controlan usando diafragmas neutros delante de las fuentes de luz. Para filmaciones en exteriores las cámaras de color deben balancearse en forma diferente.

La apariencia de color de las fuentes luminosas se describe convencionalmente por su temperatura de color correlacionada, es decir, la temperatura de color de un cuerpo negro (radiador caliente) cuyas coordenadas están más cerca en el diagrama de cromaticidad de la CIE 1931 (Wyszecki & Stiles, 1982). En general aquellas fuentes con temperaturas de color altas, mayores de 5000 °K se consideran con bajo rendimiento de color y se consideran fuentes "frías", como las lámparas fluorescentes luz día. En cambio, aquellas fuentes con temperaturas de color menores de 3000 °K son fuentes "cálidas" como las lámparas incandescentes, con mayor presencia de longitudes de onda más largas, esto es rojos y naranjas.

Illuminantes patrones

Debido a que el color de un determinado cuerpo depende, fijado el observador, de la composición espectral de la luz con que se ilumine, se han establecido acuerdos internacionales sobre iluminantes patrones denominados A, B, C, D₆₅ y E.

- Iluminante A: es la luz de una lámpara de incandescencia de filamento de wolframio, alimentada a una tensión tal que adquiere una temperatura de color de 2856°K.
- Iluminante B: representa en promedio la luz del sol directo al mediodía con un cielo claro. Su color es de 4874°K. Se puede obtener en el laboratorio a partir del iluminante A.
- Iluminante C: representa la luz de cielo norte sin sol directo en un día claro. Su temperatura de color es de unos 6774°K. Puede obtenerse también filtrando la luz del iluminante A.
- Iluminante D₆₅: la Comisión Internacional de Iluminación ha propuesto este nuevo iluminante, que representa la luz de día que corresponde a una temperatura de color de 6504°K, del cual si bien ha dado su composición espectral no ha dado las normas para obtenerlo en la práctica. Un iluminante puede ser totalmente ficticio, basta con dar su composición espectral y con ello se pueden calcular los colores que los cuerpos presentarán al ser iluminados con dicha luz, aunque ésta no exista.
- Iluminante E: representa una luz de espectro equienergético teórico con una temperatura de color de 5500°K y puede obtenerse también filtrando la luz A.

Las curvas de distribución energética espectral de los iluminantes A, B, C, D y el equienergético se muestran en la figura 17.

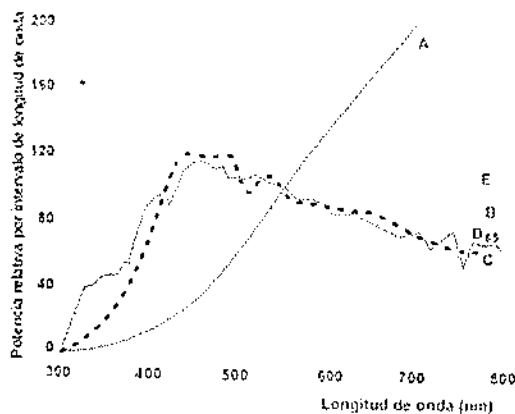


Figura 17
Distribuciones de la potencia espectral de los iluminantes estándares de la CIE A, B, C, E y D₆₅.

Índice de rendimiento de color

El efecto de la luz sobre la apariencia del objeto se indica mediante un "Índice General de Rendimiento de Color CIE", el cual es un número simple que indica, para una fuente de luz, con qué precisión reproduce los colores con relación a una fuente estándar (CIE 1974). Específicamente, se calculan las posiciones en un espacio de color de 8 colores de prueba, bajo una fuente de luz de referencia y bajo la fuente de luz de interés. Luego se calcula la separación entre las dos posiciones correspondientes al mismo color de prueba, se suman las separaciones para los ocho colores de prueba y se escalan para dar un valor de 100 cuando no hay separación para ninguno de los colores de prueba, lo que indica un índice de reproducción de color perfecto. Este es un sistema muy rudimentario y, es sabido que, dos fuentes de luz que tengan un mismo índice general de rendimiento de color pueden reproducir en forma distinta dos colores, sin embargo, este índice es muy usado para clasificar el rendimiento de fuentes de luz, en relación con la reproducción del color.

Instrumentos de medición

Los instrumentos para medir cantidades fotométricas o colorimétricas se dividen en instrumentos de laboratorio y de campo (CIBSE, 1994; IESNA, 1993). Los primeros son mas sofisticados y por tanto más caros, mientras los segundos son pequeños y manuales. El flujo luminoso y las propiedades de color de una fuente de luz, así como la distribución de intensidad luminosa de una luminaria, se miden generalmente en un laboratorio ya que implican la disponibilidad de equipamiento sofisticado y del desarrollo de metodologías complejas. De todos modos, las cantidades que en general se necesitan medir en trabajos de campo son la iluminancia y la luminancia, las cuales se miden con el luxímetro y el luminancímetro.

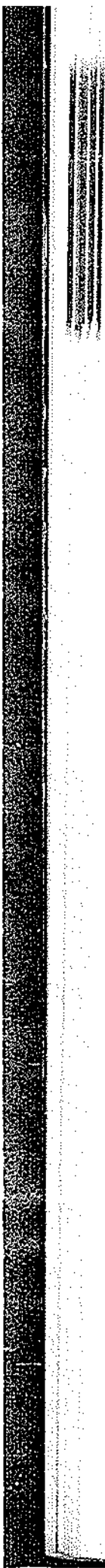
Un medidor de iluminancia (luxímetro) tiene tres características importantes: sensibilidad, corrección de color y corrección coseno. La sensibilidad se refiere al rango de iluminancia que cubre, dependiendo si será usado para medir luz natural, iluminación interior o exterior nocturna. Corrección de color se refiere a que el instrumento tiene un filtro de corrección $V(\lambda)$, para que el instrumento tenga una sensibilidad espectral igual a la del Observador Standard Fotópico de la CIE. La corrección coseno significa que la respuesta del medidor de iluminancia a la luz que incide sobre él desde direcciones diferentes a la normal sigue la ley de coseno.

El luminancímetro está diseñado para medir la luminancia media sobre un área especificada. Posee un sistema óptico que enfoca la imagen sobre un detector. Mirando a través del sistema óptico el operador puede identificar el área sobre la que esta midiendo la luminancia, y usualmente muestra la luminancia promedio sobre esta área. Las características más importantes de los luminancímetros son su respuesta espectral, su sensibilidad y la calidad de su sistema óptico. Al igual que un luxímetro, un buen luminancímetro tiene una respuesta espectral acorde con la curva de sensibilidad espectral del Observador Standard Fotópico de la CIE. La sensibilidad exigida al instrumento depende de las condiciones bajo las cuales se usará el mismo.

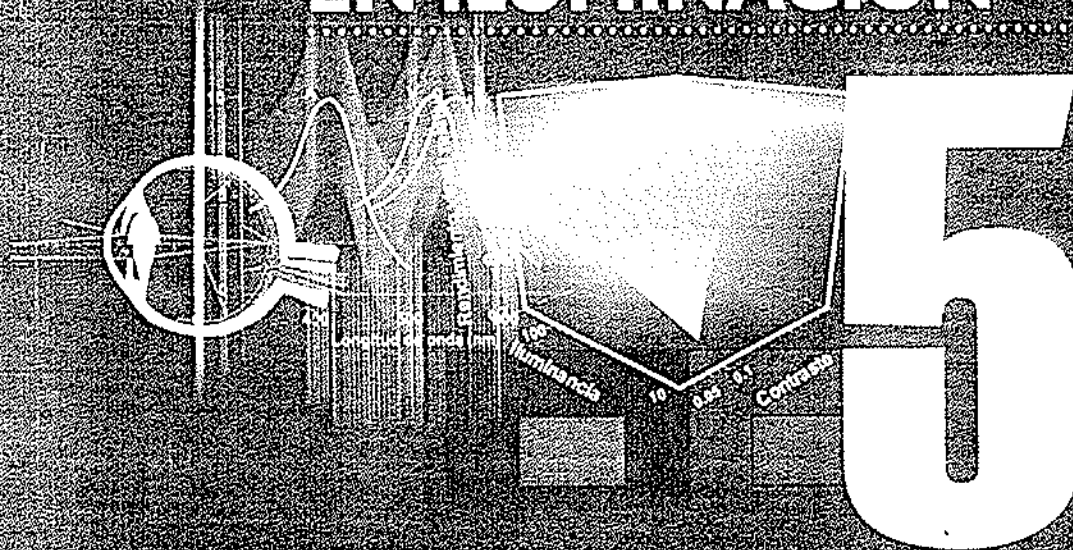
Recientemente han comenzado a aparecer luminancímetros basados en cámaras de video que capturan la imagen en forma digitalizada (Rea & Jeffrey, 1990). Si bien estos instrumentos todavía son caros proveen una manera de medir luminancias de escenas que cambian espacialmente y en el tiempo. ■

CONSULTA BIBLIOGRÁFICA

- Boyce P (1981) - Human Factors in Lighting - Applied Sciences Publishers - London
 CIBSE: Chartered Institution of Buildings Services Engineers (1994) Code for interior lighting London
 Coates J R & Marsden A M. (1997) 4th edición: Lamps and lighting - Arnold John Wiley & Sons Inc. Capítulo 3. Halstead M B. Colour
 Commission Internationale de l'éclairage CIE (1970). Principles of light measurement. CIE Publication 18
 Commission Internationale de l'éclairage CIE (1971) Colorimetry CIE Publication 15
 Commission Internationale de l'éclairage CIE (1972) Special Metamerism Index. Change in Illuminant Supplement N° 1 to CIE publication 15.
 Commission Internationale de l'éclairage CIE (1974) Method of measuring and Specifying Colour rendering Properties of light sources
 Publication 13.2.
 Commission Internationale de l'éclairage CIE (1978 a) Recommendations of the CIE for the colours of signal lights Supplement N° 2 to CIE 15.
 Falk D, Brill D. y Stark D. See in the light (1993) Harper & Row Publishers New York
 Rea M; Jeffrey J G (1990) A new luminance and image analysis system for lighting and vision. I Equipment and calibration. Journal of the
 IES 19, 64-72
 Wyszecki G; Stiles W S (1982) Colour Science. Concept and methods, quantitative Data and formulae. John Wiley, London



FACTORES HUMANOS EN ILUMINACION



CAPITULO

Autor:
Dra. Elisa Colombo

INTRODUCCION

Eficiencia visual, confort y ambientación

La energía eléctrica comienza hace más de 100 años como un desarrollo tecnológico y fue implementado como una rama de la Ingeniería donde las descripciones y soluciones tradicionalmente tomaron la forma de modelos matemáticos, la mayoría de ellos empíricos. Los pioneros de la iluminación tendieron primariamente a iluminar de manera eficiente y económica, basados fundamentalmente en mediciones físicas y fotométricas más que en la respuesta emocional a la luz. Más recientemente los diseñadores han aprendido a considerar los efectos psicológicos -factores humanos- junto a los tradicionales niveles de iluminancia y las distribuciones de luminancias sobre las áreas de interés. En este sentido la nueva generación de investigaciones en iluminación ha comenzado a focalizar cada vez más el interés de sus trabajos en estos aspectos subjetivos, aunque en esta etapa es de interés que los diseñadores de iluminación sean conscientes de la importancia de tener en cuenta la calidad de la iluminación en su forma más global e incorporar todos los resultados disponibles en este sentido para lograr instalaciones de iluminación de mejor calidad (Miller y McGowan, 2000).

Si se realizara una lista de cuestiones de interés para el diseño de iluminación, ésta cambiaría de proyecto a proyecto e incluso los distintos aspectos tendrían diferente grado de prioridad, dependiendo de los objetivos del mismo, de las condiciones arquitectónicas y su rol histórico, de las posibilidades de inversión económica y de las preferencias e intereses de los usuarios. Se suma aquí el para quien está realizado el diseño y quien define y juzga la calidad de la iluminación. El interés está puesto en el usuario, sea un puesto de trabajo, un lugar para la recreación o el descanso, una vía pública o su propio hogar, interesa su edad, necesidades visuales, experiencia previa, expectativas e incluso sus gustos y preferencias.

En la actualidad la calidad de la iluminación se ha establecido sólidamente como un objetivo fundamental del diseño de iluminación, como se evidencia en los eventos que se citan a continuación:

First CIE Symposium on Lighting Quality (Mayo, 1998)

Inclusión en forma sistemática en el Proceso de Diseño de Iluminación incluido en la 9ª Edición del IESNA Lighting Handbook (Enero 2000)

Creación de un nuevo Comité Técnico de la CIE (TC3-34) establecido en Junio de 1999 para definir mejor el concepto de Calidad de Iluminación.

Veitch (2000, 2001 a y b) establece que la calidad de un sistema de iluminación está determinada por el grado de excelencia alcanzado, el cual se define como un juicio relativo que depende del contexto en el cual se desarrolla el proyecto de iluminación, incluyendo el bienestar de las personas, y su integración con las necesidades arquitectónicas y económicas, **figura 1**. El contexto determinará la importancia relativa de las tres componentes y de los elementos que participan de estos componentes. A partir de esta clasificación se podría dividir el amplio dominio de la investigación en iluminación en tres grandes campos, que si bien se solapan, los tres juegan un rol en el establecimiento de nuevas tecnologías, en la definición de los procesos de diseño, y en el conocimiento de todos aquellos factores que puedan aportar al mejoramiento de la calidad de la iluminación.

Estos campos son: investigación orientada al desarrollo de tecnologías en iluminación, incluyendo el aporte de la luz natural, la investigación orientada al diseño y la arquitectura, y la investigación sobre los factores humanos, incluyendo sus procesos biológicos y psicológicos así como sus efectos.

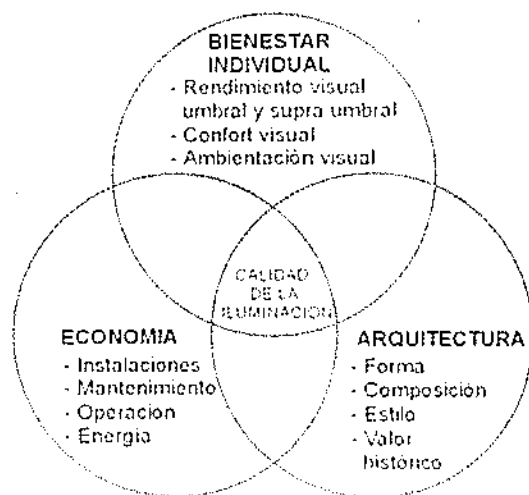


Figura 1
Calidad de la iluminación:
la integración de los factores
humanos, arquitectónicos y
económicos.

Este capítulo está orientado al desarrollo de los aspectos vinculados a este tercer campo. Para organizar la presentación de los aspectos que relacionan la interacción de la gente con la iluminación es necesario considerar la respuesta visual considerando mediciones de rendimiento, confort y ambientación.

El rendimiento visual es un continuo desde la eficiencia visual umbral hasta el rendimiento en condiciones supraumbrales. En el umbral justo se ve, justo se discrimina o reconoce, etc., cerca del umbral el estímulo se ve siempre pero la precisión con que la tarea se realiza está limitada y toma más tiempo. En el supraumbral siempre se ve el estímulo pero ahora la persona es capaz de adquirir y procesar la información con mayor precisión y más rápidamente.

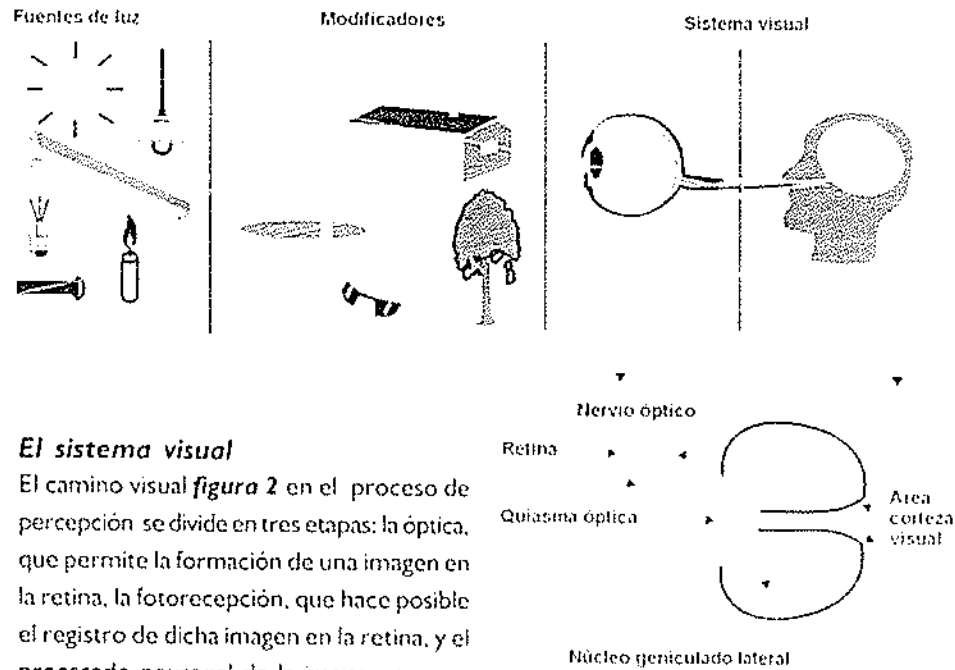
Las instalaciones de iluminación tienen que ser diseñadas no solamente para asegurar un buen rendimiento visual sino que debe incluir también consideraciones sobre el confort visual. Los aspectos de la iluminación que causan molestias visuales incluyen aquellos relevantes al rendimiento visual pero se extiende más allá. La razón es que los factores relevantes al rendimiento visual están generalmente restringidos a la tarea y su entorno cercano, mientras que los factores que afectan al confort visual tienen que ver con todo el medio iluminado. Los resultados indican que el confort visual es más sensible a los cambios en la iluminación que el rendimiento visual. Más aún, si una dada condición luminotécnica es considerada no confortable puede llegar a disminuir el rendimiento visual, aún cuando las condiciones no afecten directamente al estímulo.

Sin embargo, si bien el confort visual es una cuestión muy importante en algunas situaciones, por ejemplo para el usuario de una oficina e incluso para un jugador de tenis en una cancha cerrada, hay otras situaciones en las que factores como el deslumbramiento son muchos menos críticos, como para una persona bailando en una discoteca o conversando en una confitería. En estos casos es necesario introducir otros factores vinculados al impacto psicológico que puede producir el medio ambiente iluminado relacionado con el humor, la creación de climas, las expectativas, etc. creando efectos positivos y negativos, campo sobre el cual se ha avanzado mucho en los últimos tiempos, aunque por ahora no se reflejan en normas o recomendaciones y quedan fuera del alcance de este texto.

En cualquier caso el punto de partida es el conocimiento del sistema visual, y si bien en general un diseñador tiene poco o ningún control sobre las propiedades físicas del ojo o del cerebro, debe ser capaz de optimizar el modo en como el estímulo llega al sistema visual y en como este estímulo interactúa con el medio ambiente visual.

Un estímulo visual, que puede provenir ya sea directamente de una fuente de luz o modificada por la reflexión o transmisión en un objeto, es procesado mediante un sistema de receptores y codificadores, que componen el sistema visual. Este sistema de recepción y codificación, fisiológicamente involucra tanto al ojo como al cerebro, y psicológicamente, involucra tanto la estimulación como las suposiciones sobre el mundo exterior. Esto es lo que se llama proceso de percepción visual. En la *figura 2* se presenta un diagrama del camino que recorre el estímulo visual.

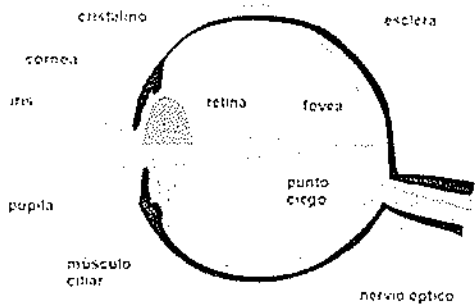
Figura 2
El camino que sigue la señal luminosa desde la fuente de luz hasta el resultado del procesamiento, la percepción visual, incluyendo la vía visual, del ojo al cerebro.



El sistema visual

El camino visual *figura 2* en el proceso de percepción se divide en tres etapas: la óptica, que permite la formación de una imagen en la retina, la fotorecepción, que hace posible el registro de dicha imagen en la retina, y el procesado neuronal de la imagen para su interpretación, el cual comienza ya en la retina y finaliza en el cerebro. Este último incluye los núcleos geniculados laterales y el sistema nervioso central.

El conocimiento actual del sistema visual va desde un buen conocimiento del ojo hasta un conocimiento muy parcial del cerebro. Los estudios electrofisiológicos han aportado importantes conocimientos sobre los caminos y modificaciones de las señales que provienen de la retina y la naturaleza del estímulo que ellas producen. Aún así el modo en que se construye la percepción de los objetos es todavía poco conocido.



El Ojo

El ojo posee, en buena aproximación, dos sistemas, el sistema óptico, y el sistema de registro, con componentes neurológicos *figura 3*.

Sistema óptico

Cuando alguien mira un objeto el ojo gira de modo que la imagen siempre incida sobre una particular zona de la retina, la fóvea. El sistema óptico del ojo es el que permite la formación de esta imagen sobre la retina o película fotosensible, involucrando fenómenos de refracción y absorción, dispersión, difracción y acomodación, responsables del porcentaje y del espectro de la luz que llega a los receptores sensibles a la luz.

El ojo esta formado por los siguientes componentes:

- cornea
- cristalino
- pupila
- humor acuoso y vitreo

El sistema óptico formador de una imagen esta estructurado básicamente por las superficies refractoras que contienen la cornea y el cristalino y una abertura que es la pupila.

Figura 3
Componentes ópticos y neurológicos del ojo.

Se incluye también una fina capa de lágrimas cuya función es limpiar el ojo y suavizar la superficie de las pequeñas imperfecciones, en ella comienza el proceso de refracción aunque la mayor parte ocurre en la córnea ($n \cong 1.376$). Junto con la capa de lágrimas, la cornea produce el 70% de la refracción de la luz. El cristalino ($n \cong 1.406$ en el centro y $n \cong 1.386$ en la periferia) es la segunda lente, que refracta el 30% restante de la luz. Esta lente está compuesta por capas finas superpuestas concéntricas, suspendida de un saco o cápsula llamada zónula de Zinn. Este saco está soportado por el músculo ciliar. La focalización se logra variando el radio de curvatura, mediante el cambio de forma, con la ayuda de los músculos ciliares y es lo que se conoce como fenómeno de acomodación. El mismo permite ver objetos desde los 0.1m (10 dioptrías) hasta objetos en el infinito (0 dioptrías). Para objetos muy cercanos al ojo la lente se achata, reduciendo su distancia focal, y para objetos lejanos se alarga, aumentando su distancia focal. Si no hay objetos en el campo de visión, como puede ocurrir en una densa niebla o durante la noche, la lente tiende a focalizar a una distancia de 1m desde el ojo.

La pupila es la abertura circular del iris, situado casi tangencialmente a la primera superficie del cristalino. Actúa como un diafragma del sistema óptico. Su diámetro varía en función de la luminancia media de la escena, lo que permite controlar la cantidad de luz que forma la imagen en la retina y afecta a la calidad de la misma debido a la influencia del diámetro de la pupila en la difracción, las aberraciones y la profundidad de campo. El diámetro de la pupila varía entre 2 a 8 mm, se dilata cuando la cantidad de luz disminuye y se contrae en respuesta a un incremento del nivel de luz. Esta variación en el diámetro puede dar cuenta de un cambio en el valor de luminancia de solo 16:1, mientras el rango en que opera el sistema visual es 10^{12} :1 (el rango de luminancias varía entre 10^{-6} cd/m² a 10^6 cd/m²) lo que revela que la variación del tamaño de la pupila es un aspecto menor de la adaptación del sistema visual a las condiciones prevalecientes. Cuando la persona pasa de un lugar oscuro a otro iluminado, toma 10 segundos para dilatarse a 2/3 del tamaño mayor y 5 minutos para dilatarse del todo. El tamaño de la pupila no es regulado solamente por los niveles de luz prevalecientes sino otros varios factores interactuantes: por la "realimentación" de los fotorreceptores de la retina y por factores emotivos.

Los humores acuoso y vítreo permiten la nutrición del ojo y mantienen su forma. Dentro de estos elementos pueden existir partículas que provocan dispersión de la luz, fenómeno que disminuye la calidad de la imagen en la retina.

Componentes neurológicos

Los componentes neurológicos del ojo son:

- Esclera
- Coroide
- Retina
- Nervio óptico

El 80% del ojo está rodeado por tres capas de tejidos: la esclera, la capa más externa de 1 mm de espesor, que protege la forma y la estructura ocular, se une con la córnea; la corioide, o capa altamente vascular que provee el oxígeno y la nutrición a los pigmentos epiteliales y a las capas más profundas de la retina; la retina, es capa más interna en la que se encuentran los fotorreceptores que convierten las señales luminosas en señales eléctricas enviadas al cerebro. La retina es la interfase entre los procesos ópticos y electrofisiológicos de la visión y es en ella donde se produce la primera etapa del procesamiento de la información visual figura 4.

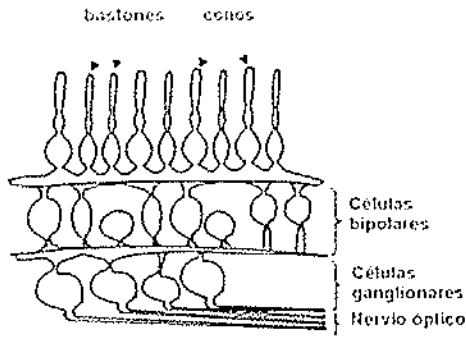


Figura 4
Corte de la retina.

Hay dos tipos de fotorreceptores sensibles a la luz, los conos y los bastones, que se diferencian por su morfología, por su sensibilidad a la luz y a la composición espectral de ésta. La función primordial de estos receptores es transformar la energía luminosa en energía eléctrica a través de la acción de químicos sensibles a la luz llamados pigmentos visuales. Los bastones poseen un solo tipo de fotorreceptor (rodopsina) y por esta razón no son sensibles al color. La máxima absorción y sensibilidad se encuentra en 507nm. Hay tres tipos de conos, los cuales se diferencian por el tipo de fotorreceptor que poseen; los conos tipo L, sensibles a altas longitudes de onda, conos tipo M, sensibles a longitudes medias, y conos tipo S, sensibles a bajas longitudes de onda. Cada uno de estos conos contienen uno de los tres tipos de fotorreceptores con máximos de absorción en el azul (420nm), verde (534nm) y rojo (564nm), como se muestra en la figura 5. La máxima sensibilidad integral de los conos está en 555nm. Los conos son responsables de la visión del color.

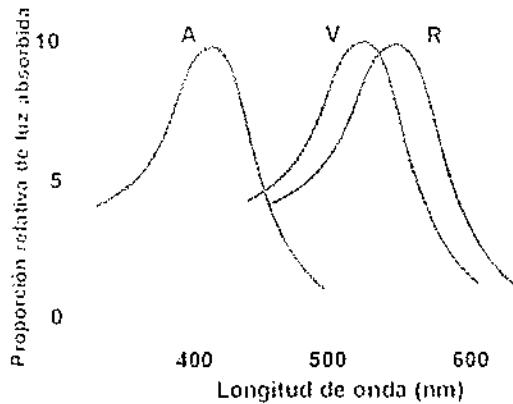


Figura 5
Sensibilidad espectral de los tres tipos de conos (A) longitud de onda corta; (V) media y (R) alta.

La densidad de receptores en la retina es tal que los conos se encuentran en altísima densidad en el centro o fovea, decreciendo esta densidad de conos hacia la periferia. La fovea es la región que sólo tiene conos, según una densidad de 150.000 conos/mm². En cambio, los bastones prevalecen en la periferia y se tiene un máximo de densidad aproximadamente a los 20° de la fovea. Esta distribución espacial en la retina se muestra en el gráfico de la figura 6.

La retina tiene una estructura horizontal y vertical, como puede verse en la figura 4. La estructura vertical consiste de arreglos entre tres tipos de neuronas, los fotorreceptores, las células bipolares y las ganglionares. La organización horizontal involucra a las células horizontales y a las amacrinas, que proveen la integración lateral de la actividad neuronal. La complejidad de esta organización es decisiva en la primera etapa del procesamiento que ocurre en la retina y diferencia la zona central de la periférica. La principal razón de las diferencias entre conos y bastones respecto de la agudeza visual y sensibilidad se debe en

gran parte a la conexión entre estos receptores y las neuronas post-receptores. Mientras la relación de los conos foveales con las células ganglionares es aproximadamente 1 a 1, la cantidad de bastones que están conectados a una célula ganglionar crece con la excentricidad. Esta diferenciación de estructura y funciones entre conos y bastones da lugar a lo que se llama teoría de duplicidad de la retina, sobre la que se volverá más adelante.

El área de la retina que estimula una célula ganglionar se llama "campo receptivo". Una alta sensibilidad se alcanza comunicando muchos bastones con una única célula ganglionar, pues la respuesta se logra a partir de suma espacial. Los conos, por otra parte, alcanzan una alta resolución espacial, comunicando un cono con una célula ganglionar, lo que maximiza la resolución a expensas de la sensibilidad. Hay aproximadamente 120 millones de bastones frente 8 millones de conos que se conectan con 1 millón de células ganglionares, es decir se produce una reducción de 128:1. Los axones de las células ganglionares forman el nervio óptico.

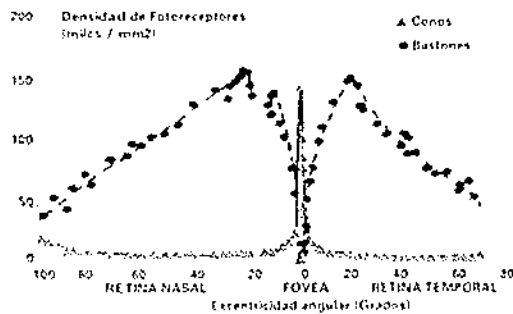


Figura 6
Densidad de fotorreceptores de la retina en función de la excentricidad.

En síntesis, la fovea recibe la parte central de la imagen, con máxima agudeza visual y visión del color aunque sólo con sensibilidad a altos niveles de iluminación. Por el contrario, los bastones poseen alta sensibilidad a la luz, pobre resolución o agudeza visual, y no son sensibles al color.

Niveles posteriores de procesamiento: núcleos geniculados y corteza visual

La señal modificada desde la retina viaja por el nervio óptico, formado por cerca de 1 millón de axones de células ganglionares, de acuerdo al camino señalado en la figura 2.

El primer punto de interés es el quiasma óptico, es aquí donde la presencia de los dos ojos se vuelve importante ya que las señales de los ojos se combinan. Cada núcleo geniculado recibe su totalidad de la información recogido de una mitad del campo visual. Se dice que es el camino que permite al cerebro identificar objetos. Los cuerpos geniculados no producen cambios en la señal, sus células tienen iguales características que las ganglionares de la retina, solamente trasladan información de modo que zonas adyacentes en la retina llegan a zonas adyacentes en el núcleo geniculado.

La característica básica de los núcleos geniculados laterales es su organización, la información que llega está organizada en capas, lo que significa que neuronas en iguales áreas de la retina viajan a iguales capas de los núcleos geniculados. Este camino a través del cuerpo geniculado lateral provee la información sobre el "qué", en el cual la orientación, distancia y localización no son importantes. El proceso de localización, es decir el "dónde" se hace a través de otro camino: los colículos superiores, que operan similarmente a los cuerpos geniculados en cuanto a la organización que proviene de la retina. Sin embargo la región foveal no parece tener un tratamiento especial.

Los axones de cada núcleo geniculado se dirigen hacia el lóbulo occipital de la corteza. Su destino es el área visual en el lóbulo occipital, bastante más complejo que los núcleos geniculados, conteniendo cerca de 250 millones de neuronas. Esta área se llama corteza estriada, nombre que deriva de la presencia de una estria blanca. Como los núcleos geniculados, la corteza está organizada en capas, las neuronas de la misma área en la retina llegan a iguales áreas en la corteza.

Hoy se sabe que existen otras áreas involucradas en la visión, además de la corteza estriada. Existen también evidencias anatómicas que demuestran las conexiones entre el área estriada y otras áreas, estudios provenientes de ablación de estas áreas muestran pérdidas en las habilidades visuales. Se han identificado 30 áreas extraestriadas y se ha mostrado que cerca del 60% del área de la superficie de la corteza está involucrada en la visión.

Para resumir se puede decir que los receptores marcan el comienzo de una compleja secuencia de eventos, llamado proceso perceptual y que tiene lugar muy rápidamente.

Es claro que este proceso no es tan simple como recoger imágenes pasivamente, sino más bien consiste de mecanismos que primero transforman los estímulos del medio en impulsos nerviosos que luego se procesan. Si se continúa con esta exploración se observa que el sistema visual opera analizando los estímulos visuales según sus diferentes características de color, movimiento y forma, los cuales son codificados en impulsos nerviosos que combinados crean nuestra percepción global.

CARACTERISTICAS FUNCIONALES DEL SISTEMA VISUAL HUMANO

El ojo humano es capaz de realizar una variedad de diferentes ajustes para proveer un adecuado funcionamiento.

Sensibilidad del ojo como función del nivel de luz

El sistema visual es capaz de operar sobre un gran rango de luminancias del orden de 10^{12} ó 10^{11} , dependiendo sus capacidades visuales del nivel de luminancia a la cual el sistema visual esta adaptado. Sin embargo, en cada situación es muy difícil que el sistema visual pueda cubrir más de tres ordenes de magnitud simultáneamente. En la tabla que se incluye a continuación se muestra el rango dinámico del sistema visual, indicándose además el diámetro de la pupila, valores típicos de luminancias y las funciones visuales que operan en cada caso.

El sistema fotópico de conos opera aproximadamente desde 10 cd/m^2 hasta 10^6 cd/m^2 , valor para el cual ya es posible un daño sobre la retina. En este rango el sistema visual privilegia la agudeza visual y visión de color por una pérdida de sensibilidad a bajos niveles. La zona escotópica se extiende desde el umbral absoluto hasta 10^{-3} cd/m^2 , donde un objeto puede ser visto más fácilmente con visión periférica que foveal debido a que los bastones están ausentes en la zona central-foveal. En este caso el ojo se orienta de modo que la imagen se forma a unos 6° de la fovea.

La región intermedia o rango mesópico, donde tanto los conos como los bastones contribuyen a la visión, se extiende desde 10^{-3} cd/m^2 hasta cerca de 10 cd/m^2 . Sin embargo, no hay una discontinuidad en las propiedades de los visuales entre estos rangos, más bien, cuando la luminancia de adaptación aumenta en la región mesópica se observa también un mejoramiento gradual en la discriminación de detalles, de colores y otras capacidades del sistema visual.

Tabla sobre el rango dinámico de adaptación del sistema visual

Luminancia (cd/m^2)	Diámetro pupila (mm)	Tarea	Función visual
10^6	8.0	Umbral absoluto	Escotópica: pobre agudeza visual, sin visión de color. Solo operan los bastones
10^5	6.6	Superficie blanca en una noche sin luna	Mesópica, conos y bastones
10^4		Superficie blanca en una noche con luna llena	
10^3	5.5	Lectura con dificultad	Fotópica: buena agudeza visual y visión de color. Conos y bastones
1	4.0	Lectura confortable	
10^1	2.4	Adecuado para tareas visuales de precisión	Deterioro de la retina
10^2	2.0	Luminancia de un papel blanco bajo la luz del sol	
10^3	2.0	Filamento de una lámpara incandescente	Deterioro de la retina
10^4	2.0	Arco de carbono	
10^5	2.0	Sol	
10^6	2.0	Explosiones solares	

Es importante destacar que los rangos de luminancia para cada región difieren ligeramente según la bibliografía consultada ya los niveles reales son muy difíciles de especificar con precisión pues dependen, entre otros factores, para la región fotópica, del tamaño, de la composición espectral y de la localización retineana del estímulo.

La iluminación de un espacio interior en general es suficiente para que el sistema visual opere en el rango fotópico. La iluminación exterior en caminos o áreas urbanas es usualmente suficiente para mantener al sistema visual en la región fotópica o mesópica. En áreas rurales de muy poca luz se alcanza la región escotópica, aunque no es muy frecuente.

La percepción del color puede cambiar como función del nivel de luminancia. Esto ocurre cuando se pasa de un lugar muy iluminado a otro con muy bajo nivel de iluminación o al revés, ya que se produce un corrimiento desde el sistema de conos al de bastones o al revés. Este corrimiento de la sensibilidad espectral se llama efecto Purkinje y ya fue mencionado anteriormente.

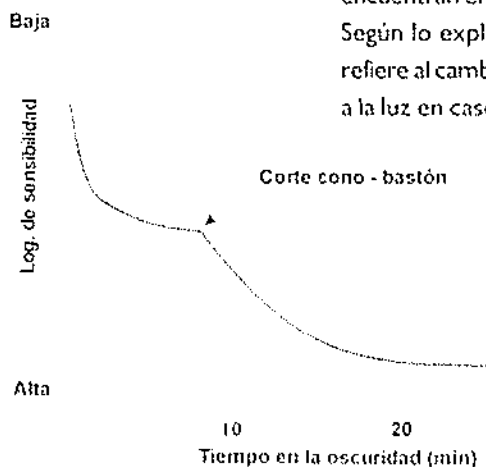
El proceso de adaptación a la luz y la oscuridad.

El proceso mediante el cual el sistema visual cambia su sensibilidad a diferentes valores de luminancia es lo que se conoce como proceso de adaptación. En el punto anterior se describió la sensibilidad del sistema visual y la forma como opera dentro del rango de luminancias posibles, pero presuponiendo que el mismo está adaptado a un valor determinado de luminancia.

El proceso de adaptación se describe mediante tres componentes (Boyce 1981):

- a) una fase rápida, que envuelve procesos neuronales,
- b) una fase intermedia de ajuste del tamaño de la pupila y
- c) una fase lenta gobernada por los tiempos que toman los procesos fotoquímicos en llegar al estado de equilibrio, que dependen de las condiciones iniciales y finales de adaptación, debido a las diferentes constantes de tiempo involucradas en la participación de los sistemas de conos y bastones. Cuando la luminancia inicial y final están en la región fotópica, la adaptación es rápida, de unos cuantos minutos, ya que sólo los conos están involucrados. Cuando la luminancia de partida está en la región fotópica y la final en la región escotópica, ocurren dos procesos, el primero involucra los conos y el segundo los bastones, se habla de adaptación "a la oscuridad". Una adaptación completa desde una luminancia fotópica a otra escotópica puede tomar cerca de una hora. Sin embargo si ambas luminancias se encuentran en la región escotópica el proceso de adaptación sólo tomará algunos minutos. Según lo explicado arriba se distinguen dos procesos: adaptación a la oscuridad que se refiere al cambio de sensibilidad al pasar desde un ambiente claro a otro oscuro y adaptación a la luz en caso contrario.

Figura 7
Curva típica de adaptación a la oscuridad



La curva de adaptación a la oscuridad se mide a través del cambio de sensibilidad del sistema visual en el tiempo cuando el sistema pasa de un nivel de adaptación alto a uno bajo, con un estímulo presentado ligeramente desplazado de la fovea. Los resultados se muestran en la **figura 7** y se observa que la misma se divide en dos partes: la primera muestra una rápida reducción en el umbral entre los primeros 5 a 10 minutos, que corresponde a la actividad de los conos. La segunda parte representa la actividad de los bastones y muestra una lenta reducción en el umbral hasta aproximadamente unos 30-60 minutos.

La recuperación de la sensibilidad durante la adaptación a la oscuridad está relacionada a la regeneración de los fotopigmentos en los receptores.

La adaptación a la luz, es decir el cambio de sensibilidad desde una zona oscura a otra clara, ocurre más rápidamente, toma entre 5 a 10 minutos.

Estudios recientes ponen en evidencia los procesos rápidos de adaptación en condiciones mesópicas-escotópicas en tareas de evaluación de claridad y discriminación de dirección de movimiento en condiciones similares a las de conducción nocturna (Barraza y Colombo, 1999, 2000a y b; Barraza y ot., 1998; Colombo y ot., 1999, 2000).

Además de la adaptación a la cantidad de luz el sistema visual es capaz de adaptarse al color. Si el ojo está expuesto a un color saturado, el canal de color que está siendo estimulado se fatiga y la percepción del color se corre hacia el color complementario del color del estímulo que ha producido la adaptación. Por ejemplo, si el ojo ha sido expuesto a una luz verde, una superficie blanca será percibida como rosa.

Acomodación

El sistema visual es capaz de ver con nitidez objetos lejanos como así también objetos cercanos, lo que implica que no es un sistema rígido sino que puede modificar su poder refractivo de modo que objetos a diferentes distancias formen su imagen en la retina. Este proceso se llama acomodación y su mecanismo consiste en la modificación de la distancia focal del cristalino. Cuando el ojo forma una imagen sobre la retina, de un objeto que esta en el infinito, se dice que esta en reposo. Cuando forma la imagen de un objeto cercano, el músculo ciliar, a través de las fibras que lo unen al cristalino, actúa sobre éste abombándolo respecto de su estado de reposo. La variación de la convergencia no se debe sólo al cambio de la curvatura del cristalino sino también a la variación del índice de refracción dentro de las diferentes capas internas que forman el cristalino.

El punto más cercano al ojo que se puede ver nitidamente se llama punto próximo y el más lejano punto remoto. Para un ojo normal el punto lejano esta en el infinito mientras que el punto próximo depende de la edad, debido a que el cristalino pierde elasticidad.

Por convención, el punto próximo para una persona normal y adulta es de 25 cm, y se denomina distancia mínima de visión distinta.

Campo visual

Manteniendo la dirección de visión fija en una posición, se observa que la extensión angular del campo de visión dentro del cual se ve nitidamente una imagen es muy pequeña, de unos 50 minutos de arco, que corresponde al ángulo subtendido por la depresión central de la fovea. Moviendo el ojo alrededor de su centro de rotación se puede explorar con visión foveal un campo de unos 70°, el cual se denomina campo de visión directa. Dejando el ojo fijo se percibe un campo que es más borroso hacia los bordes y cuyo tamaño está limitado en el lado nasal por el tabique de la nariz. En el plano horizontal se da como término medio un campo de visión indirecta de 165°, de los cuales 105° corresponden al lado temporal y 60° al lado nasal. En el plano vertical es menor y está limitado por las cejas.

Movimientos de los ojos

En el proceso de localización de objetos, juega un rol importante el movimiento del ojo, lo que permite un muestreo de la imagen y mejora la calidad de la imagen en la retina. Debido a que los detalles son bien percibidos por la fovea, la dirección de visión cambia rápidamente a fin de que la imagen se forme en la misma.

Estos desplazamientos pueden involucrar movimientos del cuerpo, de la cabeza, de los ojos o con una combinación entre ellos. Cada ojo tiene un conjunto de pares de músculos extraoculares que controlan el movimiento en diferentes ejes de rotación.

El proceso de selección de información del sistema visual humano, frente a una escena estática está afectada por movimientos bruscos del punto de fijación o sacadas. Estos cambios repentinos del punto de fijación permiten que los ojos tomen una muestra de la escena, saltando de un punto a otro unas 4 ó 5 veces por segundo. Este movimiento sacádico es balístico, una vez que comienza no puede modificarse.

Aparte de este movimiento, el globo del ojo está en un estado de movimiento continuo o temblor que causa pequeños cambios en la posición de la imagen en la retina. Posee una frecuencia entre 10 y 100 Hz y una amplitud de 0.15 mrad aproximadamente e impide que las imágenes estén un largo tiempo en la misma región de la retina, puesto que de otro modo la imagen desaparecería.

Duplicidad del sistema visual

El sistema visual está caracterizado por una duplicidad en el procesamiento de la información, que se manifiesta desde el momento mismo de la recepción (Rinalducci y ot., 1998). Esta organización dual le permiten ajustar su respuesta a las exigencias de la multiplicidad de estímulos exteriores. Comenzando con los sistemas de conos y bastones, siguiendo con la existencia de dos tipos de células ganglionares, se llega a que en realidad todo el sistema visual está organizado en dos canales paralelos que se inician en la retina y siguen hasta la corteza visual.

Las diferencias entre los sistemas de conos y bastones ya ha sido descripta. Las células ganglionares poseen diferencias anatómicas y fisiológicas. Desde el punto de vista de su tamaño se las clasifica en "α" -células M- que poseen grandes cuerpos y dendritas o "β" -células P- aquellas con cuerpos y dendritas pequeñas. Desde el punto de vista fisiológico se las clasifica en X, con pequeños campos receptivos localizados en la fovea proveen información de detalles de un estímulo, y las células Y, que tienen grandes campos receptivos localizados en toda la retina siendo sensibles a objetos en movimiento.

Los dos caminos de la vía visual se inician en la retina y siguen hasta la corteza visual, el Parvocelular (*relacionado con células pequeñas*) y el Magnocelular (*relacionado con células grandes*). Ambos caminos comienzan en las células ganglionares de la retina, pasando por los núcleos geniculados hasta la corteza. Las principales características del Sistema Parvocelular son, su respuesta sostenida, los pequeños campos receptivos más relacionados con la visión central, una pobre respuesta temporal, la mayor sensibilidad a las altas frecuencias espaciales, presentan linealidad espacial y baja sensibilidad al contraste. Por el contrario el Sistema Magnocelular posee una respuesta rápida, grandes campos receptivos, buena resolución temporal, distribución más uniforme a lo largo de la retina, alta sensibilidad al contraste, respuesta a las bajas frecuencias espaciales y es responsable de la visión de profundidad.

Estudios sobre los mecanismos visuales indicarían que el camino magnocelular es responsable de la detección de objetos y el camino parvocelular sería el responsable del reconocimiento de ellos. Más aún, el Sistema Parvocelular parece estar organizado alrededor de los conos y las células X, estando involucrado en la percepción de detalles espaciales y el color a niveles fotópicos. El Sistema Magnocelular parece estar organizado alrededor de los bastones pero también de los conos y de ambos tipos de las células ganglionares estaría especializado en la detección de movimiento y en la modulación temporal de la luz.

Procesamiento de la información visual

El estímulo en la retina puede representarse como regiones bidimensionales a las que llega energía luminosa que estimula a los fotorreceptores. Sin embargo, el estímulo no se percibe de esta manera sino como un mundo estructurado de objetos con significado. El proceso de organización que involucra la percepción es inconsciente y sin esfuerzo.

Nuestro sistema visual provee una variedad de información sobre la escena visual, como por ejemplo: profundidad, movimiento, forma, color y claridad. Cada una de estas características se procesan a través de diferentes mecanismos que envían esta información en forma simbólica al cerebro.

Percepción de claridad

Dentro de las magnitudes fotométricas, descritas anteriormente, la luminancia (L) es aquella que se asocia con la magnitud perceptual de claridad (B) dentro de un ambiente iluminado. Si bien esta relación está afectada por variables del contexto, fijadas ciertas condiciones la relación encontrada entre ambas está dada por la Ley de Stevens:

$$B \propto L^{0.3}$$

La misma muestra que no hay una relación lineal entre ambas, si la luminancia crece la percepción de claridad crece casi linealmente al principio pero, para aumentos posteriores de luminancia, la claridad no varía sustancialmente. Para alcanzar el mismo incremento relativo en claridad a altas luminancias, es necesario incrementar la luminancia en una gran cantidad. Esta ley es muy interesante porque se verifica tanto en experimentos psicofísicos como fisiológicos.

Un ejemplo entre claridad y luminancia se evidencia cuando se enciende de a una, lámparas incandescentes de 50, 100 y 150 w, en un ambiente dado. Cuando se enciende la primera lámpara, se produce un cambio en la percepción de claridad del espacio, luego, al encender la segunda, la percepción cambia pero no en la misma proporción que al encender la primera lámpara, y finalmente con la tercera lámpara la diferencia perceptual es aún menor; mientras la luminancia cambia en forma constante la percepción de claridad no acompaña linealmente esta variación. Utilizando superficies más claras se necesita aún más luz para alcanzar una percepción similar de claridad.

La percepción de claridad también depende del entorno en que es observado un estímulo, una lámpara encendida parece más clara durante la noche que durante el día, aún cuando la luminancia de la lámpara pueda ser algo mayor durante el día por las reflexiones de la luz solar sobre su sistema óptico. Este efecto conocido como contraste simultáneo, que es el efecto del fondo sobre la claridad aparente de un objeto, se ilustra en la **figura 8**.

Los cuadrados del interior tienen la misma luminancia, sin embargo el cuadro derecho se percibe como más claro que el izquierdo debido a que en ambos casos el fondo es diferente. Este fenómeno se explica por procesos de inhibición lateral que se producen dentro de los campos receptivos de las células ganglionares. Un efecto similar ocurre con fondos de diferentes colores.

Una aplicación de interés de este fenómeno en el diseño es la selección de la claridad o el color de las superficies sobre las que se exhibe una colección de cuadros.

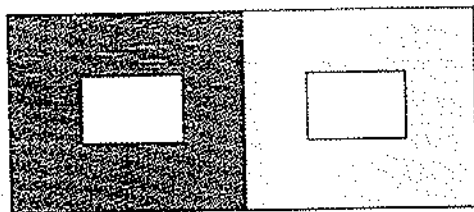


Figura 8
Fenómeno de contraste simultáneo

Percepción de formas

La investigación sobre la organización perceptual fue iniciada por la Escuela de la Gestalt a principios de siglo. La organización perceptual se basa en dos ideas fundamentales: *el todo es más que la suma de las partes* y *el resultado de una percepción es la más simple entre las posibles*. El primer paso para que una figura sea percibida es que sea distinguida del fondo. Una vez que se decide cual es la figura el contorno aparece como parte de ella. La figura se diferencia del fondo y toma una forma distinta. Si la organización cambia, el fondo puede verse como figura y viceversa.

En el proceso de diseño se intenta que la organización figura-fondo se perciba de acuerdo a lo se quiere presentar. En este sentido es importante conocer los factores que afectan a esta organización:

- Patrones simétricos sobre un fondo asimétrico tienden a ser vistos como figuras.
- Una región que esta encerrada completamente por otra tiende a ser vista como figura y el resto como fondo.
- Contornos convexos tienden a ser vistos como figuras en preferencia a contornos cóncavos.
- Las partes más pequeñas tienden a ser vistas como figuras y las más grandes como fondo.
- Una región orientada vertical, u horizontalmente, tiende a ser vista como figura frente a regiones con otra inclinación.

La forma en cómo se realiza esa organización perceptual también es importante. Las leyes más importantes se refieren a los principios de agrupamiento:

- **Proximidad:** es decir elementos que están juntos se perciben como parte de una misma figura
- **Semejanza:** elementos semejantes en forma, color o tamaño, se perciben como partes de una misma figura
- **Continuidad:** las figuras tienden a ser organizadas en líneas continuas
- **Cierre:** huecos tienden a ser llenados perceptualmente.
- **Destinos comunes:** movimientos comunes tienden a ser agrupados juntos.
- **Diferencias en orientación** de estímulos parecen proveer bases en el agrupamiento. Este hecho es usado por ejemplo para indicaciones correctas o incorrectas en un tablero usado para control.

Estas leyes de organización perceptual pueden ser de ayuda a un diseñador cuando por ejemplo organiza una disposición de luminarias dentro de un espacio a fin de crear efectos especiales.

Percepción de profundidad

El campo visual total es grande, 130° en dirección vertical y 165° en dirección horizontal, como se indicó anteriormente. La zona central del campo de visión es cubierta por ambos ojos brindando la visión binocular, mientras el extremo izquierdo y derecho de la periferia son vistos por un solo ojo, es decir con visión monocular. Cada ojo ve un campo ligeramente diferente. A partir de representaciones bidimensionales en la superficie de la retina, el sistema visual es capaz de producir percepciones de profundidad a partir de diversas claves que utiliza el cerebro.

Estas claves pueden dividirse en:

Claves monoculares: son aquellas que requieren el uso de un solo ojo. Pueden provenir de una escena estacionaria, como el tamaño, la perspectiva geométrica, las variaciones en claridad o sombras, las variaciones en color, las variaciones de nitidez, patrones de líneas o

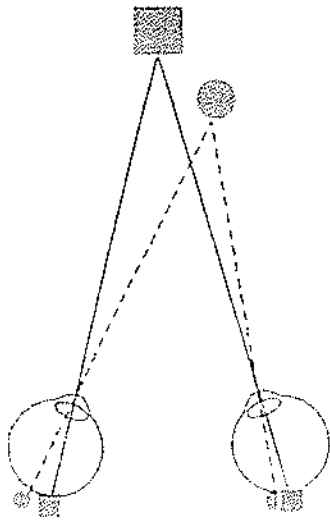


Figura 9
Disparidad binocular

figuras y el solapamiento entre figuras. En este caso se las llama también claves pictóricas pues son las que usan los artistas. También pueden ser claves cinéticas, que provienen del movimiento de una escena, como el paralaje. Por ejemplo, cuando se mira un objeto F que se mueve a la izquierda a través de una ventana, todos los objetos más distantes que F se mueven en el mismo sentido que F, mientras los objetos más cercanos que F se mueven en dirección opuesta. La demanda de acomodación para el ojo actúa también como una clave sobre la profundidad. Las claves monoculares se llaman también claves ambiguas porque permiten interpretar las imágenes de distintas maneras, aunque la interpretación que se elige es la que tiene más probabilidad de ocurrir.

Claves binoculares: utilizan la respuesta de los dos ojos y derivan del hecho que -como ya se dijo- las imágenes en cada ojo son ligeramente diferentes. Estas claves están referidas a la convergencia y a la disparidad binocular. La disparidad binocular es la diferencia entre las imágenes formadas en cada ojo, lo que provee una clave para la detección de distancias relativas entre objetos *figura 9*, mientras que, la convergencia se refiere a la tendencia de los ojos a girar uno hacia el otro en una acción coordinada para fijar la mirada en objetos cercanos. Todas estas claves actúan juntas en el proceso de percepción de profundidad y la calidad de ésta así como la superación de ambigüedades se ve reforzada cuanto más cantidad de claves estén presentes.

LA RESPUESTA VISUAL Y LA ILUMINACION

Los descriptores del sistema visual humano dependen, no solamente de la iluminación y por lo tanto del estado de adaptación del sistema visual, sino también de otros aspectos relacionados a las condiciones visuales, por ejemplo si el estímulo es presentado fovealmente o en la periferia, del tiempo de presentación del estímulo, de las características del estímulo usado, de su nitidez, de su composición espectral y el fondo sobre el cual es visto, si es estacionario o se está moviendo, etc.

Caracterización del estímulo

Cualquier estímulo puede ser descripto básicamente por cinco parámetros: tamaño visual, contraste en luminancia, contraste cromático, calidad de la imagen retiniana e iluminación retiniana. Estos parámetros son importantes para determinar la manera mediante la cual el sistema visual puede detectar o identificar un estímulo.

El tamaño visual de un estímulo se especifica en términos angulares. Si el objetivo de la tarea es de detección, el tamaño visual corresponde al ángulo sólido que el estímulo subtiende en el ojo (el ángulo sólido está dado por el cociente del área del objeto y el cuadrado de la distancia desde la cual es visto). Cuanto más grande es el ángulo sólido, más fácil es detectar el estímulo. El tamaño visual para una tarea de resolución se especifica por el ángulo subtendido por el ojo correspondiente a la dimensión crítica del estímulo. Cuanto más grande es el tamaño visual del detalle en un estímulo, más fácil es resolver la tarea.

Para estímulos complejos la medida usada está basada en el ángulo que subtiende un detalle crítico; está medido en términos de las veces que esta dimensión se repite en un ángulo de 1° y se expresa en unidades de ciclos por grados (*frecuencia espacial*). La iluminación puede modificar el tamaño de un estímulo tridimensional a partir de la formación de sombras.

El contraste de luminancia de un estímulo (CIE 1992) es una medida de su luminancia relativa al fondo sobre el cual es visto.

Cuanto más grande es el contraste de luminancia, más fácil es detectar el estímulo. Existen, en términos generales, dos formas diferentes de definir el contraste de luminancia. Para estímulos vistos sobre un fondo uniforme, el contraste de luminancia se define, por convención, como:

$$C = (L_o - L_f) / L_f$$

donde C representa el contraste de luminancia, L_f la luminancia del fondo y L_o la luminancia del detalle. Esta ecuación es ampliamente usada para estímulos que tienen detalles más oscuros que el fondo, como por ejemplo para textos impresos, y se obtienen valores de contrastes entre 0 y 1. Cuando los detalles son más claros que el fondo esta definición de contraste da valores desde 0 hasta infinito. Para estímulos que tienen patrones periódicos de luminancias, por ejemplo redes, el contraste de luminancia o modulación, en general, se define por:

$$C = (L_{\max} - L_{\min}) / (L_{\max} + L_{\min})$$

Donde $L_{\max}$ es la luminancia máxima y $L_{\min}$ es la luminancia mínima. Esta fórmula da valores de contrastes de luminancia que varían desde 0 a 1.

La iluminación puede cambiar el contraste de luminancia de un estímulo si produce deslumbramiento fisiológico en el ojo, o reflexiones de velo sobre el estímulo, o si se modifica la radiación espectral incidente cuando están involucrados estímulos de colores.

El **deslumbramiento fisiológico** se refiere al efecto de enmascaramiento de la visión debido a la dispersión de la luz, proveniente de fuentes en cualquier lugar del campo visual, producida por los distintos medios del ojo. Este enmascaramiento tiene el efecto de reducir el contraste de luminancia de la imagen de interés que se forma en la retina en la zona de la fovea. Este efecto puede determinarse sumando una luminancia de velo equivalente en la escena y la magnitud de la luminancia de velo equivalente puede calcularse (IESNA, 1993) a través de la ecuación clásica de Stiles-Holladay:

$$L_v / E_g = 10 / q^2$$

donde L_v es la luminancia de velo expresada en cd/m^2 , E_g es la iluminancia debida al deslumbramiento sobre el ojo, en lux, y q es el ángulo entre la línea de visión y la de la fuente deslumbrante, expresado en grados. Esta ecuación, de gran precisión para ángulos entre 1 y 30° data del año 1939 cuando fue presentada en la CIE aunque nunca fue aceptada formalmente como estándar. Esta fórmula fue modificada primero para incluir el efecto de la edad, luego para ángulos pequeños y finalmente se la extendió para ángulos mayores (Vos, 1984, 1999), pero para la mayoría de los fines prácticos, la ecuación clásica de Stiles-Holladay es suficientemente precisa.

El **deslumbramiento psicológico** que produce molestia o incomodidad, es el que provoca distracción sobre la tarea en el campo central -foveal- debido a fuentes luminosas en el campo periférico. Su nombre proviene del hecho que se considera que no produce ningún cambio en el rendimiento visual umbral, pero sí es causa de disminución de confort. Existen diferentes formas de predicción de la magnitud del deslumbramiento psicológico provocado por instalaciones de alumbrado interior (CIBSE, 1994; IESNA, 1993, CIE 1995). Todos estos sistemas están basados en una ecuación en la cual el grado de deslumbramiento psicológico aumenta con la luminancia y el ángulo sólido de la fuente deslumbrante y decrece cuando la luminancia de fondo y la desviación respecto de la fuente deslumbrante aumentan.

Los fabricantes de luminarias utilizan esta relación para producir tablas del grado de deslumbramiento psicológico producido por una distribución regular de luminarias, para tipos de interiores representativos. Estas tablas brindan la precisión necesaria para la estimación del grado promedio de deslumbramiento psicológico, semejante al que realmente ocurriría en un interior real.

Un estímulo con contraste de luminancia cero o muy bajo, puede ser detectado si difiere en color del fondo, es decir, si tiene *contraste cromático*. La iluminación puede acentuar, o disminuir, el *contraste cromático* de un estímulo, según la composición espectral de la emisión de la fuente de luz utilizada.

Como todos los sistemas que procesan imágenes, el sistema visual trabaja mejor cuando la imagen es clara y nítida. La *nitidez* del estímulo puede ser cuantificada por la distribución de frecuencia espacial del estímulo - una imagen nítida presenta componentes de frecuencias espaciales altas, mientras que una imagen borrosa las ha perdido. La nitidez de la imagen retiniana está determinada por las características del estímulo, por la dispersión de la luz en el medio que la trasmite y por la habilidad del sistema visual para enfocar la imagen sobre la retina. La iluminación puede afectar muy poco cualquiera de estos factores, aunque se ha mostrado que las fuentes de luz que son ricas en longitudes de onda cortas producen tamaños de pupilas más pequeñas y, en este sentido, se tiende a mejorar la visión de detalles para objetos de bajos contrastes. La explicación que se sugiere es que con pupilas de menor tamaño se obtiene mayor profundidad de campo y por lo tanto mejor *calidad de la imagen retiniana* (Bermann & ot., 1993).

La *iluminancia retiniana* determina el estado de adaptación del sistema visual y por lo tanto altera sus capacidades. La *iluminancia retiniana* está determinada por el producto de la luminancia en el campo visual y el tamaño de la pupila. La *iluminación retiniana* se mide en trolands, unidad definida cuando una superficie cuya luminancia es de 1 cd/m^2 es vista a través de una pupila del ojo de área igual a 1 mm^2 (Wyszecki & Stiles, 1982). La luminancia del campo visual está determinada por los valores de *iluminancias* y por las *reflectancias* de las superficies del medio. El tamaño de la pupila está determinado por el valor de *luminancia* y por el contenido espectral de la luz que llega al ojo.

EL RENDIMIENTO VISUAL UMBRAL

Variando el estímulo físico es posible explorar la relación particular entre estímulo y respuesta del sistema visual, desde condiciones de operación en que la tarea no es visible hasta condiciones en las que el estímulo siempre se ve. Esta relación se expresa en forma simple a través del valor umbral. Cualitativamente el valor umbral de contraste, tamaño o velocidad, por ejemplo, es aquel valor de la variable de interés para la cual la tarea apenas puede realizarse, o se realiza con dificultad. Cuantitativamente, y como resultado de una convención, es el valor de la variable para la cual el rendimiento de la tarea a realizar, ya sea detección de un estímulo o discriminación de una dirección de movimiento, por ejemplo, corresponde a un valor de 0.5, lo que quiere decir que la tarea puede ser realizada correctamente el 50% de las veces que es presentada.

Se describen a continuación las capacidades que caracterizan al sistema visual humano en el umbral: *agudeza visual*, *contraste umbral*, *función de sensibilidad espacial y temporal*.

Agudeza visual

La agudeza visual es la medida del menor detalle que puede ser resuelto por el sistema visual humano. La definición convencional de agudeza visual es el recíproco del ángulo, o el ángulo mismo, subtendido en el ojo por el detalle que puede discriminarse en el 50% de las ocasiones en que es presentado. El detalle a ser considerado depende del estímulo presentado en la medición. Son muchos los estímulos usados, incluyendo puntos, optotipos, redes, letras, etc.

Generalmente la agudeza se expresa en números tales como 6/6, 6/8 o cocientes similares, que se denominan agudeza Snellen, debido al nombre del test usado. El numerador se refiere a la distancia desde el observador al test y el segundo a la distancia típica a la cual una persona promedio puede leer una línea del test. 6/6 es considerada una agudeza normal, y 6/8 es cuando una persona puede leer a 6 m de distancia lo que otra de visión normal lee a 8 m de distancia. Las menores letras que esta persona puede leer son mayores que las que una persona de visión normal puede hacerlo.

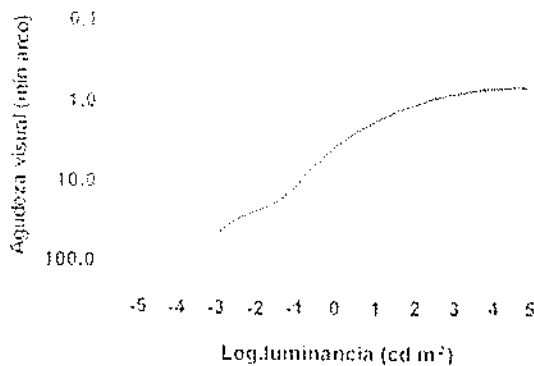


Figura 10
Agudeza visual en términos de la luminancia de adaptación.

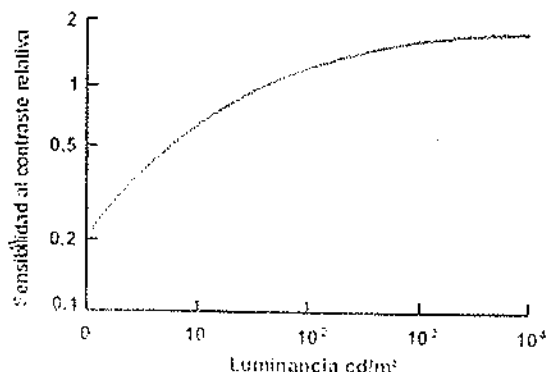
Independientemente de la tarea usada, detección, discriminación o reconocimiento, la agudeza visual mejora con la luminancia de adaptación. La **figura 10** muestra que cuando la luminancia de adaptación aumenta desde condiciones escotópicas a fotópicas, la agudeza visual aumenta, aproximándose asintóticamente a un máximo para altas luminancias, y que este efecto es menos marcado para contrastes altos.

A partir de un valor de luminancia típicamente encontrado en instalaciones de iluminación en interiores o exteriores, la **figura 10** puede usarse para determinar si un detalle de un determinado tamaño puede resolverse.

La agudeza visual depende, además de la luminancia de adaptación y del contraste, de la excentricidad, del tiempo de presentación, del movimiento del estímulo y de la edad del observador. Sin embargo, es poco dependiente de la composición espectral de la fuente supuesto que no se trata de una fuente con un rango de emisión muy angosto. En una de las funciones visuales que más cambia con la edad: empeora drásticamente a partir de los 40 años, y las diferencias entre distintos observadores se hace cada vez mayor (CIE 1989).

Una regla práctica y útil para el diseño de iluminación es que los detalles necesitan ser cuatro veces más grandes que el límite de agudeza visual para ser resuelto en forma rápida sin afectar la respuesta visual (Bailey y ot., 1993).

Figura 11
Sensibilidad al contraste en función de la luminancia de adaptación.



Contraste umbral

La sensibilidad al contraste se refiere la habilidad del sistema visual para ver diferencias en luminancias. Se define como la inversa del contraste de luminancias para el cual un estímulo puede detectarse el 50% de las veces en que es presentado. La CIE (1981) define la función de sensibilidad al contraste relativa como la inversa de la visibilidad de la tarea de referencia, que consiste de un disco de 4 min de arco presentado durante 0.2 seg cada segundo, fijando arbitrariamente el valor 1 para $L = 100 \text{ cd/m}^2$, considerando condiciones de iluminación también de referencia, que corresponden

a iluminancia sobre la tarea completamente difusa y no polarizada y luminancia uniforme en los alrededores de la tarea, con una temperatura de color de 2856 °K. Esta función es válida para una población de referencia entre 20 y 30 años. La función se presenta en la **figura 11**. Los resultados sobre contraste umbral evidencian su dependencia con el tiempo de presentación y la excentricidad. Además se encuentra que a iguales cambios de las variables intervinientes los cambios en el contraste umbral son cada vez menos efectivos (ley de respuesta disminuida). Guth y Mc Nelis en 1969 (CIE, 1989) mostraron que estos resultados se mantienen para un gran rango de estímulos, tales como redes, letras impresas, etc. Por lo tanto, es razonable sugerir que los resultados expresados son representativos para una gran variedad de estímulos.

Una regla práctica y útil en el diseño de iluminación es que, para que una tarea sea fácilmente visible, es necesario que el contraste de luminancia sea al menos dos veces el contraste umbral.

Función de sensibilidad espacial

Una imagen visual puede ser descompuesta en patrones de luminancias. Estos patrones de luminancias pueden descomponerse a su vez en una serie de funciones senoidales de acuerdo a sus frecuencias componentes. Una manera efectiva de estudiar el camino de procesamiento del sistema visual en la complejidad de una escena es usando como estímulos patrones periódicos uni-dimensionales de luminancia, tales como redes.

Cuando se mide el contraste umbral usando como estímulo una red sinusoidal, se obtiene la función de sensibilidad al contraste (*inversa del contraste umbral*) en función de la frecuencia espacial de la red sinusoidal. La frecuencia espacial de una red es una medida del tamaño de los detalles del mismo y en términos cuantitativos es la separación entre dos bandas de luminancia por grado de ángulo visual subtendido en el ojo. La función de sensibilidad al contraste integra los conceptos de agudeza visual y contraste de luminancias.

Mediciones de esta función mostraron que el sistema visual posee canales de procesamiento sensibles a determinadas bandas de frecuencia. Por simplicidad se consideran tres canales de frecuencias, bajas, medias y altas. En general se puede decir que los detalles de una imagen están asociados al contenido de altas frecuencias mientras los rasgos generales se asocian a bajas frecuencias.

La **figura 12** muestra una típica función de sensibilidad al contraste en función de la frecuencia espacial. La misma indica que el sistema visual es más sensible al contraste con redes senoidales de frecuencias espaciales de alrededor de dos o tres ciclos por grado. La sensibilidad al contraste decae fuertemente tanto en altas como en bajas frecuencias espaciales. Cuando la luminancia de adaptación aumenta desde condiciones escotópicas a fotópicas,

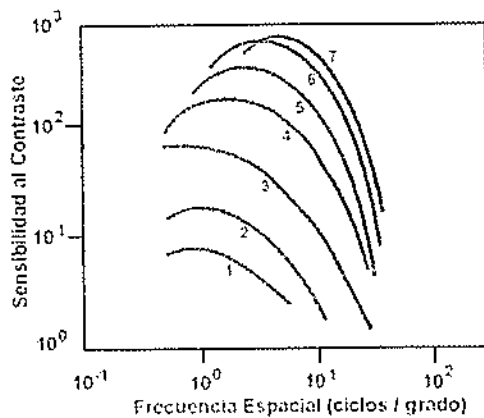


Figura 12
Los índices del 1 al 7 indican que la luminancia de adaptación crece desde niveles escotópicos a fotópicos.

indicado con los índices del 1 al 7 en la figura, la sensibilidad al contraste aumenta para todas las frecuencias espaciales, aumenta también la frecuencia espacial a la cual se presenta el pico de la sensibilidad al contraste y la frecuencia espacial más alta a la cual puede ser detectada. Si una dada imagen se descompone en sus componentes de frecuencias espaciales y, al menos una de ellas cae dentro del límite establecido por la función de sensibilidad al contraste, entonces la misma será visible (Sekular & Blake, 1994), aunque la apariencia del estímulo será diferente según la componente o las componentes que sean visibles.

Si bien la función sensibilidad al contraste varía mucho con el nivel de luminancia no hay evidencia experimental que dependa del contenido espectral de la luz utilizada para iluminar la tarea, supuesto que se compara el efecto de fuentes con las cuales las luminancias de la tarea son aproximadamente las mismas.

Función de sensibilidad temporal

Esta función brinda información sobre la habilidad del sistema visual para separar eventos en el tiempo, es decir se refiere a su capacidad de resolución temporal. Se construye a partir

de mediciones de la amplitud de modulación porcentual umbral en función de la frecuencia de la modulación temporal del estímulo.

La **figura 13** muestra una típica función de modulación temporal en función de la frecuencia temporal. Cuando la luminancia de adaptación aumenta desde condiciones mesópicas a fotópicas indicadas con los índices 1 al 6 en la figura, la sensibilidad temporal aumenta para todas las frecuencias, la frecuencia a la cual se tiene el pico de sensibilidad temporal aumenta y la frecuencia más alta que puede ser detectada también aumenta.

Del mismo modo que para la función de sensibilidad espacial, si la onda que representa la fluctuación de luz se descompone en sus frecuencias componentes, la fluctuación sólo será visible si al menos una de sus frecuencias componentes cae dentro del límite establecido por la función de sensibilidad temporal.

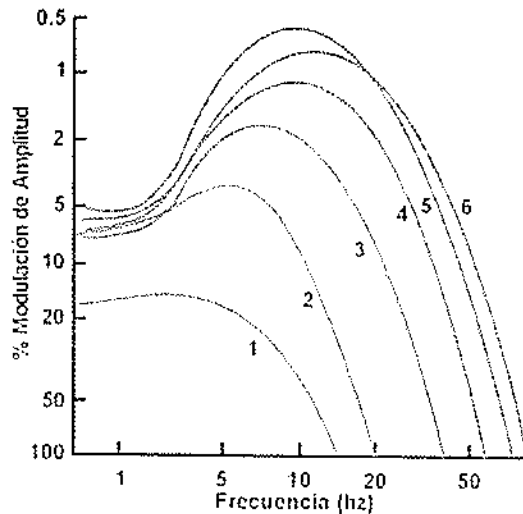


Figura 13
Los índices del 1 al 6 indican que la luminancia de adaptación crece desde valores escotópicos a fotópicos.

A diferencia de la luz natural, en la que el cambio está determinado por el ciclo día-noche, la variación en la luz artificial depende del tipo de fuente de alimentación y del mecanismo de emisión de la luz. Las lámparas incandescentes tienen parpadeo poco visible debido a la inercia térmica del filamento, sin embargo las lámparas de descarga pueden producir parpadeo. La variación temporal de la iluminación, o parpadeo, es un fenómeno común en tubos fluorescentes, pantallas de televisión o monitores de computadora, luces estroboscópicas decorativas, etc.

Se debe tener cuidado con las fuentes de luz de descarga pues tienen una modulación temporal que puede dar lugar a fenómenos estroboscópicos. Las que utilizan balastos convencionales tienen una frecuencia de alrededor de 100 ciclos por segundo, sin embargo, si bien no se percibe este efecto visualmente, ya que esta frecuencia es mayor que la frecuencia de fusión del sistema visual, el efecto puede ser peligroso. Por ejemplo, si un operario trabaja con una máquina que rota a una frecuencia determinada, puede percibir que está quieta cuando en realidad no lo está.

El parpadeo es altamente nocivo para el ser humano, sobre todo a muy bajas frecuencias. La frecuencia crítica de fusión, frecuencia a la que el observador ya no percibe el parpadeo, es muy variable según el individuo y se ubica en general entre 60 a 80 Hz. Este límite se modifica fuertemente con la edad encontrándose los máximos valores de frecuencia de fusión a los 20 años, de manera que la población de jóvenes estudiantes es la de mayor riesgo. Sin embargo, por encima de esta frecuencia el parpadeo sigue siendo detectado por estructuras superiores del sistema visual e influye de alguna manera en el sistema nervioso en su totalidad (Jaen, 1999a).

Discriminación de color

La habilidad para discriminar entre dos colores de igual luminancia depende de la diferencia en la composición espectral de la luz que recibe el ojo. La **figura 14** muestra las elipses de

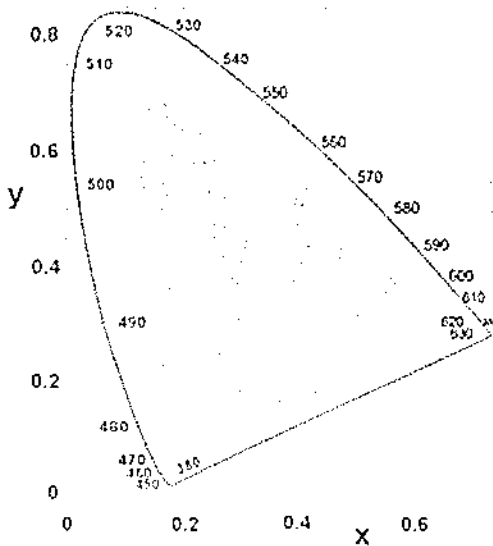


Figura 14
Elipses de MacAdam en función del diagrama de cromaticidad de la CIE 1931. Los límites de cada elipse representan 10 veces la desviación estándar del juicio de color realizado para la cromaticidad indicada.

MacAdam, las áreas alrededor de una valor de cromaticidad dentro de las cuales el sistema visual no es capaz de diferenciar colores, aún bajo condiciones de comparación lado a lado (Wyszecki y Stiles, 1982). En el dibujo las elipses están aumentadas de tamaño en un factor de 10.

El efecto de la iluminancia sobre la habilidad para discriminar colores está limitada a la región fotópica, siendo 300 lx suficiente para realizar un buen juicio de color (Cornu y Harlay, 1969). Cuando el sistema visual entra en la región mesópica, la habilidad para discriminar colores se deteriora y finalmente falla cuando se entra en la región escotópica.

En este caso el efecto del espectro de la luz es muy importante. La posición de un color sobre el Diagrama de Cromaticidad CIE del año 1931 está determinado por el espectro de la luz, y si es radiación reflejada o transmitida por una superficie, está determinada por la reflectancia o transmitancia espectral de esta superficie. Por lo tanto, modificando las características espectrales de una lámpara es posible facilitar o dificultar la discriminación de colores. En este sentido si la tarea involucra discriminación de colores es muy importante realizar una cuidadosa elección de la fuente de luz utilizada.

Como mejorar las condiciones de las tareas en condiciones umbrales

Trabajar cerca del umbral no es fácil, más aún, en general se pretende lograr condiciones de trabajo lejos del umbral, sin embargo si este es el caso se pueden tener en cuenta todos los resultados anteriores a fin de lograr que el rendimiento mejore.

Para ello se puede mejorar la tarea -aumentando el tamaño del detalle crítico y su contraste de luminancias, cambiando el color del estímulo para que se destaque mejor, presentar la tarea de modo que se pueda mirar directamente, por ejemplo en visión foveal, aumentar el tiempo de presentación, etc. Otra alternativa consiste en modificar el medio que rodea la tarea, para ello puede aumentarse la luminancia de adaptación, seleccionar una fuente de luz apropiada por su composición espectral, diseñar el sistema de iluminación evitando todo tipo de deslumbramiento, etc.

A modo de síntesis se puede decir que en condiciones umbrales las características del estímulo presentado al sistema visual se vuelve decisivo en el rendimiento visual de tarea. Sin embargo, en la mayoría de los casos en los se realizan tareas, el sistema visual no trabaja en condiciones umbrales, por el contrario, en la mayoría de las tareas cotidianas (leer un libro, escribir en una computadora, manejar un auto o una bicicleta, buscar un número de teléfono en la guía o un remedio en un estante, o detectar una falla en una plaqueta de circuitos eléctricos, cocinar, etc.), las dimensiones involucradas están por lo general muy por encima de los valores determinados con las pruebas de agudeza visual, los contrastes están muy por encima de los valores umbrales, y así siguiendo.

Rendimiento visual en condiciones supraumbrales

El rendimiento visual supraumbral está referido al caso de tareas que son fácilmente visibles porque los valores de las características del estímulo -como contraste y tamaño- que se presentan al sistema visual están muy por encima de aquellos asociados a condiciones umbrales.

Sin embargo, las condiciones de iluminación pueden influir en el mejoramiento del rendimiento visual, aún cuando la tarea sea claramente visible, pues la iluminación influye en la velocidad con la cual puede ser procesada la información visual extraída de los estímulos.

En consecuencia, el rendimiento visual se mide en términos de los índices que integran la velocidad y la exactitud con que se realiza una tarea visual, medidas que están directamente relacionadas con la productividad. Sin embargo, la productividad está determinada por el rendimiento global de la tarea, que involucra factores cognocitivos y motores además de los visuales. En este sentido, la influencia de las condiciones de iluminación sobre la productividad depende del peso de la componente visual en la tarea. Por ejemplo, la productividad de una persona que transcribe un documento en una PC no será buena si el texto que debe leer tiene letras muy pequeñas o el contraste es bajo o si la iluminación es inadecuada, pero el rendimiento de la tarea también depende de otros factores como de su habilidad para escribir a máquina o de su hábito de lectura. A lo largo de los años se han propuesto modelos empíricos (CIE, 1972, 1981; Rea, 1986; Rea y Oullette, 1988, 1991, Travis y ot., 1990) por lo que a continuación se presenta una síntesis de los principales resultados experimentales de diferentes investigaciones sobre el rendimiento visual y los factores que lo afectan:

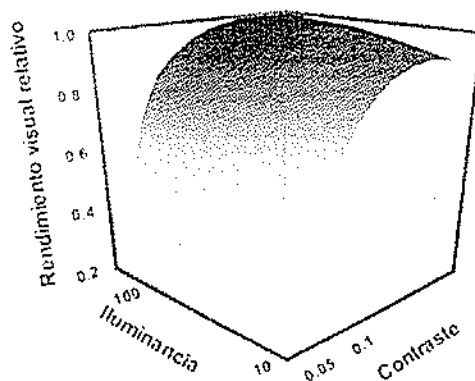


Figura 15
Superficie que representa al Rendimiento Visual Relativo en función de las características de la tarea: contraste y luminancia.

El rendimiento visual varía con la luminancia de adaptación, el contraste, el tamaño del estímulo y la nitidez, de una manera asintótica o no lineal (Colombo y ot., 1987; CIE, 1989; Colombo y Kirschbaum, 1990; Bailey y ot., 1993; Boyce, 1997; O'Donnell y Colombo, 1999, 2001). El rendimiento visual aumenta al principio casi linealmente pero luego alcanza una "meseta" (Boyce y Rea, 1987) donde un cambio en las condiciones de iluminación produce muy pequeños cambios en el rendimiento. La forma de esta relación, entre el rendimiento visual y cualquiera de las variables anteriores, sugiere que el sistema visual puede mantener un alto nivel de rendimiento sobre un amplio rango de condiciones físicas, pero que fuera de este rango el rendimiento cae rápidamente. La existencia de esta "meseta" sugiere que una vez que se la alcanza, el esfuerzo posterior debe orientarse hacia otros efectos de la iluminación, relacionados a mejorar el confort y la ambientación.

En la **figura 15** se presentan las curvas del Modelo de Rendimiento Visual Relativo basadas en el tiempo de reacción (Rea y Oullette, 1988).

- El rendimiento visual en condiciones supraumbrales emperora con la edad de la persona debido a que disminuye la luminancia retineana y por tanto la luminancia de adaptación (Adrian, 1998). Esto implica que para adultos mayores sea necesario incrementar el contraste, la luminancia y el tamaño de los objetos a fin de obtener igual rendimiento visual que para un adulto joven.
- La relación de luminancias entre la tarea y su entorno cercano tiene poca influencia sobre el rendimiento visual (Rea y ot., 1990). Sin embargo, en el caso de tareas frente a una computadora se observan cambios en el rendimiento visual cuando la relación entre la luminancia del plano horizontal y la pantalla superan la relación 20:1 (Kokoscha y Haubner 1985).
- La uniformidad de iluminación en el plano de trabajo tiene poca influencia sobre el rendimiento visual (Slater y Boyce, 1990).
- El rendimiento visual decrece como resultado de la reducción de contraste ante la presencia de una fuente deslumbrante indirecta (Rea, 1981), también por la presencia de imágenes

de luminarias que se reflejan sobre la tarea (Bernecker y ot., 1995) o por efectos de la dispersión de la luz en los medios intraoculares que proviene de la observación directa de una fuente de luz (IES 1993).

- A pesar que los efectos de la variación temporal de las fuentes de luz tienen poca influencia sobre el rendimiento visual, existen evidencias de que la modulación temporal puede afectar la respuesta visual incluso para frecuencias de modulación no percibidas conscientemente. Lámparas con balastos electrónicos, debido a su alta frecuencia de funcionamiento, poseen ventajas respecto del rendimiento visual en comparación a lámparas con balastos convencionales (Veitch, 2001; Jaen, 2000).
- Los resultados respecto de la dependencia del rendimiento visual con la distribución espectral de una fuente no está aún clarificado existiendo investigaciones contradictorias (Veitch, 2001), posiblemente debido a que la influencia de la composición espectral depende fuertemente del tipo de tarea; por ejemplo, puede ser muy importante en detección de fallas en una fábrica textil y poco importante en una vía rápida de circulación de vehículos.

Estos resultados proveen herramientas que permiten al diseñador en iluminación optimizar el rendimiento visual supraumbral, ya sea modificando las características de la tarea o las de la iluminación.

En el caso de la tarea misma se puede aumentar el tamaño o el contraste de luminancia del detalle en la tarea, hacer que el objeto a detectar sea claramente distinto de los objetos que lo rodean en la mayor cantidad posible de dimensiones, como por ejemplo tamaño, contraste, color y forma. También es posible modificar el entorno visual incrementando la luminancia de adaptación, seleccionando fuentes de luz con mejores propiedades de color, diseñando la iluminación de manera que no haya deslumbramiento fisiológico ni reflexiones de velo, incrementando el tamaño aparente o el contraste de luminancia del objeto.

Sin embargo, es necesario tener en cuenta que cada situación tendrá su solución más adecuada y que no existen soluciones mágicas a partir de estos resultados (Boyce, 1996).

Confort Visual

Los países tienen recomendaciones bien establecidas para los valores de iluminancias que deben proveerse en puestos de trabajo en interiores (CIBSE, 1994; IESNA, 1993). La mayoría de estas recomendaciones se basan no únicamente en consideraciones sobre rendimiento visual sino también prevén el logro de un alto nivel de confort de los usuarios en relación al espacio diseñado.

Así como para el rendimiento visual, los diferentes grados de confort se pueden ubicar en un continuo en el cual el máximo corresponde a un estado tal que el sistema visual trabaja confortablemente y la iluminación cubre las expectativas de las personas, mientras que en el otro extremo el sistema visual opera en su límite.

Causas de disminución del confort visual

Las causas que provocan molestias visuales pueden clasificarse en aquellas asociadas con la iluminación y en otras que dependen de la tarea misma.

Problemas asociados con la iluminación

Variación temporal de la luz artificial

Diversas investigaciones han registrado quejas frecuentes de dolores de cabeza en trabajadores de oficinas con iluminación fluorescente, con y sin pantallas de computadoras, las que han sido vinculadas a la modulación de 100Hz de luz emitida por los tubos (Brundrett, 1974; Wilkins, 1989; Lindner&Kropf, 1993). Cuando se introducen balastos electrónicos se eleva la frecuencia de parpadeo de la luz a unos 30-50KHz. Diferentes trabajos de investigación evidencian que este tipo de balasto disminuye las quejas de dolores de cabeza, aumenta el bienestar e incluso disminuye la tensión nerviosa de personas más sensibles al efecto (Wilkins, 1989). El efecto también se evidencia en mediciones de rendimiento visual en condiciones umbrales (Jaen, 1999b) y supraumbrales (Wilkins, 1993; Jaen, 2000a y b). De todo lo dicho se evidencia la importancia de conocer en qué manera este problema afecta la calidad de la iluminación que se está suministrando, máxime cuando en muchos casos se trata de un efecto del cual el observador no tiene conciencia, de manera que su efecto puede provocar incomodidad y molestias sin que la persona sepa bien las razones. Las soluciones posibles para disminuir el parpadeo son muy diferentes. Una de ellas está relacionada con la fabricación de la lámpara y sugiere el uso de fósforos con mayor persistencia, teniendo en cuenta no solamente la elección de los fósforos vinculados al índice de reproducción cromática sino también a este efecto perjudicial. Otra alternativa está vinculada al diseño de la instalación e implica la conexión de las lámparas a fases diferentes de modo de introducir un desfase en las emisiones de los distintos tubos utilizados en la instalación, produciendo un aparente aumento de frecuencia de la luz emitida. Sin embargo, la solución que más se está generalizando es el uso de los balastos electrónicos por su efecto de elevar la frecuencia de modulación. La modulación de la onda de luz a la salida, que en las distintas lámparas conectadas a circuitos convencionales varía entre 100 a 30%, se reduce con el balasto electrónico 2%. Sin embargo, no todos los balastos electrónicos que existen en el mercado aseguran la eliminación efectiva de la componente de 100Hz en la modulación de la emisión luminosa. La solución del balasto electrónico también es buena en el caso de las lámparas fluorescentes compactas (LFC) pues si se utilizan con los balastos convencionales se mantiene el problema de un elevado porcentaje de modulación.

Deslumbramiento

Se puede reducir el deslumbramiento fisiológico mediante una adecuada selección, distribución en planta y orientación de las luminarias para disminuir la intensidad luminosa en las direcciones cercanas a la línea de visión.

Este tipo de deslumbramiento no es muy frecuente en alumbrado interior pero si es muy común en calles durante la noche, en especial por causa de las luces de automóviles que circulan en sentido opuesto. En este caso es necesario considerar además otros medios, externos al ojo, que también producen dispersión, como por ejemplo la atmósfera y en el parabrisa, partículas de polvo o marcas en el vidrio. También durante el día, especialmente cuando se tiene el sol de frente, tanto en el amanecer como en el ocaso. Si bien, a veces, el deslumbramiento fisiológico puede provocar incomodidad, es posible tener deslumbramiento fisiológico sin disminución de confort cuando la fuente deslumbrante es extensa. Un ejemplo ocurre al mirar un cuadro colgado en una pared adyacente a una ventana o cuando trabajamos con una computadora frente a una ventana.

Al igual que en el caso anterior se puede reducir el deslumbramiento psicológico mediante una adecuada selección y distribución en planta de las luminarias.

Se deben emplear las recomendaciones locales (Normas IRAM-AADL J20) adoptadas para estimar la magnitud del deslumbramiento psicológico. El uso de superficies de alta reflectancia en el ambiente, como aumentar la luminancia de fondo contra la que son vistas las luminarias, ayuda a reducir este tipo de deslumbramiento.

Sombras

La magnitud de una sombra depende, no solamente del tamaño de objeto opaco que intercepta la radiación, sino también de las distancias involucradas entre la fuente y el objeto y del tamaño mismo de la fuente. Una sombra será mayor cuanto mayor sea el objeto, más puntual sea la fuente y más próxima esté del objeto.

Las sombras pueden constituir un problema severo, dejando en la oscuridad una zona de la escena que sea de interés, llegando incluso a provocar exigencias de adaptación en tiempos cortos, provocando en estos casos molestia visual. Pero también puede ser un elemento esencial para revelar la forma de objetos tridimensionales utilizando las técnicas de disposición de luminarias que se basan en la idea de crear un juego de luces y sombras para modificar el aspecto percibido del objeto iluminado. Este último caso es muy común con fines artísticos donde también con las sombras se busca crear un determinado clima, por ejemplo de miedo o terror.

Entre los casos de falta de confort podemos citar el típico problema del alumbrado industrial donde grandes piezas de maquinarias producen sombras en áreas adyacentes. El efecto de estas sombras puede ser contrarrestado ya sea incrementando la proporción de luz interreflejada usando superficies con alta reflectancia, o bien instalando alumbrado localizado sobre las áreas sombreadas. En cambio, en el caso de objetos pequeños, la sombra puede caer sobre una zona significativa, lo que puede provocar confusión perceptual, en particular si dicha sombra se mueve. Un ejemplo cotidiano se presenta cuando la iluminación en un escritorio es interceptado por la mano, produciendo sombra sobre la zona de interés. Este problema se puede minimizar colocando una lámpara de escritorio ubicada apropiadamente. La cantidad y tipo de sombras dependen de la cantidad de fuentes luminosas y de la magnitud de las interreflexiones de la luz que se producen en el espacio. Las sombras más profundas se producen a partir de una única fuente luminosa concentrada en una habitación oscura. Sombras débiles se producen cuando las fuentes luminosas son extensas y el grado de interreflexiones es elevado. Si no se desean sombras en el ambiente se deberá usar superficies con elevada reflectancia con el fin de incrementar la cantidad de luz interreflejada, y utilizar mayor cantidad de lámparas de baja potencia para lograr el valor de iluminancia deseado. Esta última es la solución más adecuada cuando las sombras no pueden evitarse debido a la extensión de la obstrucción. Si las sombras no pueden ser evitadas por su extensión se puede usar iluminación localizada en dichas áreas.

Reflexiones de velo

Cuando la radiación visible, proveniente de una fuente de alta luminancia, por lo general una luminaria o una ventana, se refleja en una superficie que refleja especularmente, tal como un papel satinado o una pantalla de video, aparecen las conocidas y molestas reflexiones de velo. La luminancia de la imagen reflejada cambia el contraste de luminancias del estímulo de interés, un texto en la página satinada o una imagen en la pantalla. El rendimiento visual disminuye y este cambio se puede cuantificar utilizando el modelo de rendimiento visual relativo (RVR), sin embargo, la pérdida de confort visual no es tan fácilmente cuantificable.

aunque se toma una reducción del 20% del contraste de luminancia como el límite aceptable sin que cause disminución en el confort visual (Boyce, 1997). De todos modos este problema genera posturas incómodas por medio de las cuales el sujeto trata de evitar los molestos reflejos. La especularidad del material que está bajo observación y la geometría entre el observador, el objeto y la fuente de alta luminancia son los factores que determinan la magnitud de las reflexiones de velo. Al igual que las sombras, las reflexiones de velo también pueden aprovecharse cuando quiere destacarse algo por medio de un acento de luz. El efecto de las reflexiones de velo puede disminuirse:

- a) reduciendo la componente especular de la reflectancia de la superficie observada,
- b) cambiando la geometría entre el observador, la superficie observada y la zona afectada,
- c) disminuyendo la luminancia de las luminarias,
- d) aumentando la cantidad de interreflexiones de luz en el ambiente. Si las reflexiones de velo aparecen en una superficie autoluminosa, como una pantalla de video, también es posible, aumentar la luminancia de la pantalla eligiendo letras oscuras contra un fondo claro.

Problemas asociados con la tarea visual

Cada tarea posee un grado de dificultad visual, cuanto mayor es esta dificultad menos confortable será para quien realiza esta tarea. Este es el caso de un texto con letras pequeñas, en el que la reacción es acercar la tarea a los ojos para aumentar el tamaño angular de las letras, lo que implica a su vez ajustar los mecanismos de acomodación a fin de mantener nítida la imagen en la retina. Este ajuste provoca cansancio visual y por tanto reducción del confort visual. Es importante que una vez conocida o identificada la tarea se eviten factores que reduzcan el confort, entre los cuales podemos nombrar.

Información insuficiente o excesiva

Ocurre cuando el observador no encuentra en la escena información relevante para extraer -subestimulación- o bien cuando existe excesiva información -sobreestimulación- de manera que en los dos casos la situación es de incomodidad. Ejemplos característicos de información nula se producen cuando se conduce un vehículo en la niebla o en una tormenta de nieve, en ambos casos, el sistema visual está esperando encontrar alguna información significativa, como la presencia de un obstáculo, que puede aparecer repentinamente, y a su vez requerir una respuesta rápida. En el caso de sobreestimulación, la tarea se ve enmascarada por un fondo complejo, como por ejemplo cuando se quiere leer un texto impreso sobre un fondo con información similar.

Causas de distracción

Si dentro del campo visual se detecta la presencia de objetos con altos valores de luminancia o, que se mueven o parpadean, y que no son de interés para el observador, los mismos se vuelven causas de distracción debido a que su poder de atención no disminuye después de una observación. Tratar de ignorar los objetos que automáticamente atraen la atención es estresante y puede ser causa de síntomas de disminución de confort visual.

Elementos de confusión perceptual

Ocurre cuando se presentan dentro del entorno visual patrones de luminancias que entran en conflicto con el que corresponde al campo visual asociado a la tarea que se realiza, produciendo confusión perceptual, y por tanto pérdida de confort visual.

Factores que actúan positivamente sobre el confort visual

Investigaciones en este campo muestran que:

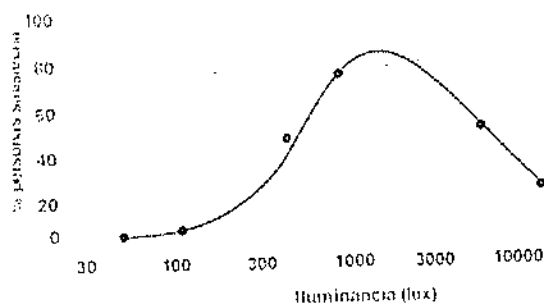


Figura 16
Porcentaje de observadores que consideran confortable el nivel de iluminación con el cual se realiza una tarea

■ A diferencia del rendimiento visual, el grado de confort presenta una zona de respuesta óptima respecto del nivel de iluminancia, es decir, que más luz no es equivalente a mayor confort **figura 16**. Diversos estudios muestran que las preferencias sobre niveles de iluminancia dependen de la demanda visual de la tarea, de los individuos y de su edad. En general, los valores de iluminancias considerados confortables son mayores que aquellos para los cuales el rendimiento visual es óptimo.

■ En general se acepta que una *distribución no uniforme de iluminancia* contribuye a la creación de un ambiente más confortable, aunque las relaciones de iluminancias preferidas entre el medio ambiente y la tarea dependen del valor de iluminancia medio en el ambiente, de modo que a menores iluminancias, las personas prefieren ambientes con mayor uniformidad (Slater y ot., 1993). Se encuentra que un buen predictor del confort es el promedio de iluminancias entre el techo y las paredes de un ambiente, de modo tal que cuanto mayor es este valor mayor es el confort (Miller y ot., 1995).

■ En el mismo sentido, la *distribución espacial de luminancias*, relacionada con las reflectancias de las superficies que rodean el ambiente, es una de las claves para el confort, y las relaciones de luminancia entre tarea y alrededor inmediato también dependen de la iluminancia sobre tarea, es así que para una iluminancia de 500 lx el cociente de luminancias preferido es 3:1 mientras para una iluminancia menor, 50 lx, este cociente es de 2:1, para igual reflectancia en la tarea.

■ Del mismo modo la *relación de luminancia* recomendada entre tarea y medio ambiente lejano, como es el caso de paredes, techo o superficies dentro del campo visual de un observador, es 10:1. Ooyen, Weijget y Begemann en 1987 (Veitch, 2001) encontraron que la luminancia de las paredes es un factor importante en el confort, pero que su valor depende del tipo de tarea (*lectura, trabajo sobre computadora, etc*). En particular paredes claras enfrente de la tarea son consideradas más confortables que oscuras.

■ Las relaciones entre *iluminancia y rendimiento de color de la fuente usada*, indican que cuando se ilumina con fuentes de buena reproducción de color se necesitan menores iluminancias que si se ilumina el mismo espacio con fuentes de baja reproducción cromática a fin de obtener igual calificación de confort visual. Se necesita mayor iluminancia cuando las fuentes poseen bajo rendimiento cromático, que respecto de fuentes con buen rendimiento cromático.

■ Diversas investigaciones muestran que la *iluminación indirecta o directa/indirecta* es preferida frente a una iluminación sólo directa (Veitch y col., 1996).

■ En general se acepta como más confortables los ambientes con *aporte de luz natural*. Las preferencias por el tamaño de las ventanas depende de la vista que ofrece la misma, del nivel de iluminancia mínimo que provee, del tamaño y forma de la habitación.

Conclusiones

Un diseño de iluminación de buena calidad es aquel que cumple con los objetivos planteados y cubre las necesidades de los usuarios, logrando un balance entre los sistemas de iluminación, incluyendo el aporte de la luz natural, y atendiendo a las demandas de eficiencia energética, arquitectónicas y de disponibilidad económica. La atención de los factores humanos en el diseño redundará en el bienestar de las personas, lo que a su vez resulta también en mayor productividad.

La iluminación puede ser usada con diferentes objetivos de acuerdo a la función del espacio. Puede tratarse de una iluminación cuyo propósito sea proveer correctamente luz en un puesto de trabajo, y en este caso rendimiento y confort visual son de primordial importancia y se complementan, pero también puede ser usada para atraer la atención de las personas hacia un centro de interés, o para lograr un efecto decorativo, o para crear espacios con diferentes climas, como en la iluminación de vidrieras en un comercio, en el hall de entrada de un hotel, o en lugar de oración y recogimiento. En estos últimos ejemplos, en los que la luz puede tener un rol protagonista, decorativo o con una intención, la ambientación visual es el factor predominante a tener en cuenta en el diseño.

De cualquier modo, si bien existen recomendaciones que ayudan a un diseñador a planificar un diseño, y predecir en términos generales las impresiones que ese espacio causará sobre las personas, cada espacio necesitará de un tratamiento particular, pues no existen reglas ni formulas mágicas que se ajusten con precisión a lo que se quiere lograr en un ambiente iluminado. ■

CONSULTA BIBLIOGRAFICA

- Adrian (1998) *The correlation of models for vision and visual performance*. CIE TC 1-19 Draft
- Bailey I / Clear R / Berman S (1993) Size as a determinant of reading speed. *Journal of the IES* 22, 102-117
- Barraza J / Colombo E (1999) Glare influence on gratings motion detection under night driving conditions. *Proc. CIE 24th Session - Warsaw '99*, vol. I, 148-150
- Barraza J / Colombo E (2000) *The time course of the lower threshold of motion during rapid events of adaptation*. *Vision Research*, en prensa
- Barraza J / Colombo E (2000) Transient glare: its effect on the lower threshold of motion. *OPTICS EXPRESS*, 14 August 2000, vol. 7, No. 4, 172-177
- Barraza J / Issolo L / Colombo E (1998) Deslumbramiento y evaluación de claridad en condiciones de alumbrado vial. *Revista LUMINOTECNIA (AADI)*, vol. 6, 1-4
- Bernecker C / Sanders P / Mistrick R (1995) Reflected luminance pattern in visual display units. *Journal of the IES*, 24(2), 8-18
- Berman S.M. / Fein G. / Jewett D.L. / Ashford F (1993) Luminance-controlled pupil size effects: Landolt C task performance. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 22, 150-165
- Boyce P (1981) *Human Factors in Lighting*. Applied Sciences Publishers, London
- Boyce P / Rea M. (1987) Plateau and Escarpment: the shape of Visual Performance. *Proc. 21st CIE Session, Venecia*, 82-85
- Boyce P. (1996), *Illuminance Selection Based on Visual Performance and other fairy stories*. *Journal of the IES*, 25(2), 41-49
- Boyce P. (1997) *Handbook of ergonomics of human factors*. Capítulo 26: Illumination. Editado por Gavriel Salvendy, 858-890
- Brundrett G.W. (1974) Human sensitivity to flicker. *Lighting Research / Technology*, 6(3), 127-143
- CIBSE: Chartered Institution of Buildings Services Engineers (1994) *Code for interior lighting* London
- CIE Commission Internationale de l'éclairage (1972) *A unified framework of methods for evaluating visual performance aspects of lighting*. Publicación N° 19/1 TC-3.1
- CIE Commission Internationale de l'éclairage (1981) *An analytical model for describing the influence of lighting parameters upon visual performance*. Publicación N° 19/2 TC-3.1
- CIE Commission Internationale de l'éclairage (1989), *Lighting effects on vision*. Committee TC 1-14 2nd draft
- CIE Commission Internationale de l'éclairage (1992) *Contrast and Visibility*. Publicación N° 92 (TC 1-17)
- CIE Commission Internationale de l'éclairage (1995) *Discomfort Glare in Interior Lighting*. Publicación N° 117
- Colombo E / Barraza J / Issolo L (1999) Evaluation of transient glare in the scotopic-mesopic range. *SPIE - The International Society for Optical Engineering*, Vol 3749, 504-505
- Colombo E / Barraza J / Issolo L (2000) The effect of brief exposure to glare on brightness perception at scotopic-mesopic range. *Lighting Research and Technology*, 32(2), 65-70
- Colombo E / Raitelli M / Kirschbaum C (1987) Legibility of texts: the influence of blur. *Lighting Research / Technology*, 19(3) 61-79
- Colombo E / Kirschbaum C (1990) Print quality and visual performance. *Lighting Research / Technology*, 22(2) 85-93
- Cornu L / Harlay F (1969) Modifications de la discrimination chromatique en fonction de l'éclairement. *Vision Research* 9, 1273-1280
- IESNA: Illuminating Engineering Society of North America (1993), *Lighting Handbook IES*, 8th edition: capítulos 2, 3 y 4.
- Jøen M (1999a) Variación temporal de la iluminación: sensibilidad del sistema visual humano. *Publicación Delta Luminotecnica Luz y Vision*, Serie Fascículos sobre Luz y Vision N° 6, 1-31
- Jøen M (1999b) Visual sensitivity to the modulation of light from fluorescent lighting. *Proc. CIE 24th Session Warsaw '99*, 92-101

- Joen M (2000a) El uso de balastos electrónicos en la iluminación fluorescente. ¿favorece un mejor rendimiento visual?. Memorias Lux América 2000, San Pablo.
- Joen M. (2000b) Efectos de la modulación temporal de la luz sobre el sistema visual humano. Anales AFA, 2000, en prensa
- Kokoschu S. / Haubner P. (1985) Luminance ratio at visual display work station and visual performance. Lighting Research and Technology, 17, 138-144
- Lindner H/ Kropf S (1993) Asthenopic complaints associated with fluorescent lamp illumination (FLI): the role of individual disposition. Lighting Research & Technology, 25(2), 59-69
- Miller N/ McKay H/ Boyce P (1995) An approach to a measurement of lighting quality. Proc. of the IESNA
- Miller N/ McGowan T K. (2000) Lighting quality and how it is being applied to lighting design -- a progress report CIBSE National Conference, 47- 55
- ODonnell B/ Colombo E (1999) The perceptual quality at video display unit's tasks: contrast, resolution and luminance. Proc. 23th CIE Session, Warsaw, I-1, 102-106
- O'Donnell B/ Colombo E (2001) Inner contrast and perceptual quality in tasks with video display units. Lighting Research & Technology, en prensa
- Rea M (1981) Visual performance with realistic method of changing contrast. Journal of the IES, 10, 164-177
- Rea M. (1986) Toward a model of visual performance: foundations and data. Journal of the IES, Vol 15, summer 1986, 41- 57
- Rea M/ Ouellette M. (1988) Visual performance using reaction times. Lighting Research & Technology, 20, 139-153
- Rea M/ Jeffrey J G (1990) A new luminance and image analysis system for lighting and vision. 1 Equipment and calibration. Journal of the IES 19, 64-72
- Rea M/ Ouellette M / Tiller D.K. (1990) The effect of luminous surroundings on visual performance, pupil size, and human preference. Journal of the IES, 19(2) 45-58
- Rea M/ Ouellette M (1991) Relative visual performance: a basis for application. Lighting Research & Technology, 23, 135-144
- Rinalducci E. / Higgins K. / Zawod M / Sadowski W. (1998) Mechanisms of photopic, mesopic and scotopic vision. Proceedings of the 4th International Lighting Research Symposium, Orlando USA, Mayo, 1-12
- Sekuler R/ Blake R. (1994) Perception Mc Graw Hill NY
- Slater A/ Boyce P (1990) Illuminance uniformity on desk, where is the limit? Lighting Research & Technology, 22, 165-172
- Slater A/ Perry M/ Carter D (1993) Illuminance differences between desks: limits of acceptability. Lighting Research and Technology 16, 171-186
- Travis D/ Bowles S/ Seton J/ Peppe R (1990) Reading from color displays, a psychophysical model. Human Factors Society, 32(2) 147-156
- Veitch JA/ Miller N/ McKay H/ Jones C (1996) Lighting System effects on judged lighting quality and facial appearance. Proc. of the IESNA
- Veitch JA (2000) Lighting guidelines from lighting quality research CIBSE National Conference, 56- 63
- Veitch Jennifer (2001) Lighting quality contributions from biopsychological processes. Journal of the IES, 30(1), winter, 3- 16
- Veitch Jennifer (2001) Psychological processes influencing lighting quality. Journal of the IES, 30(1), winter, 124- 140
- Vos J J (1984) Disability glare - a state of the art report. CIE Journal, 3, 39-53
- Vos J J (1999) Glare today in historical perspective: towards a new CIE glare observer and a new glare nomenclature. Proc. 23th CIE Session, Warsaw, I-1, 38-42
- Wilkins A (1989) Fluorescent lighting, headaches and eyestrain. Lighting Research/ Technology, 21 (1), 11-18
- Wilkins A (1993) Reading and visual discomfort. In D M Willows RS Kruk y E.
- Corcos, Eds. Visual Process in Reading and reading Disabilities Hillsdale NJ: Lawrence Erlbaum Associates
- Wyszecki G/ Stiles W S (1982) Colour Science: Concept and methods, quantitative Data and formulae. John Wiley, London

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

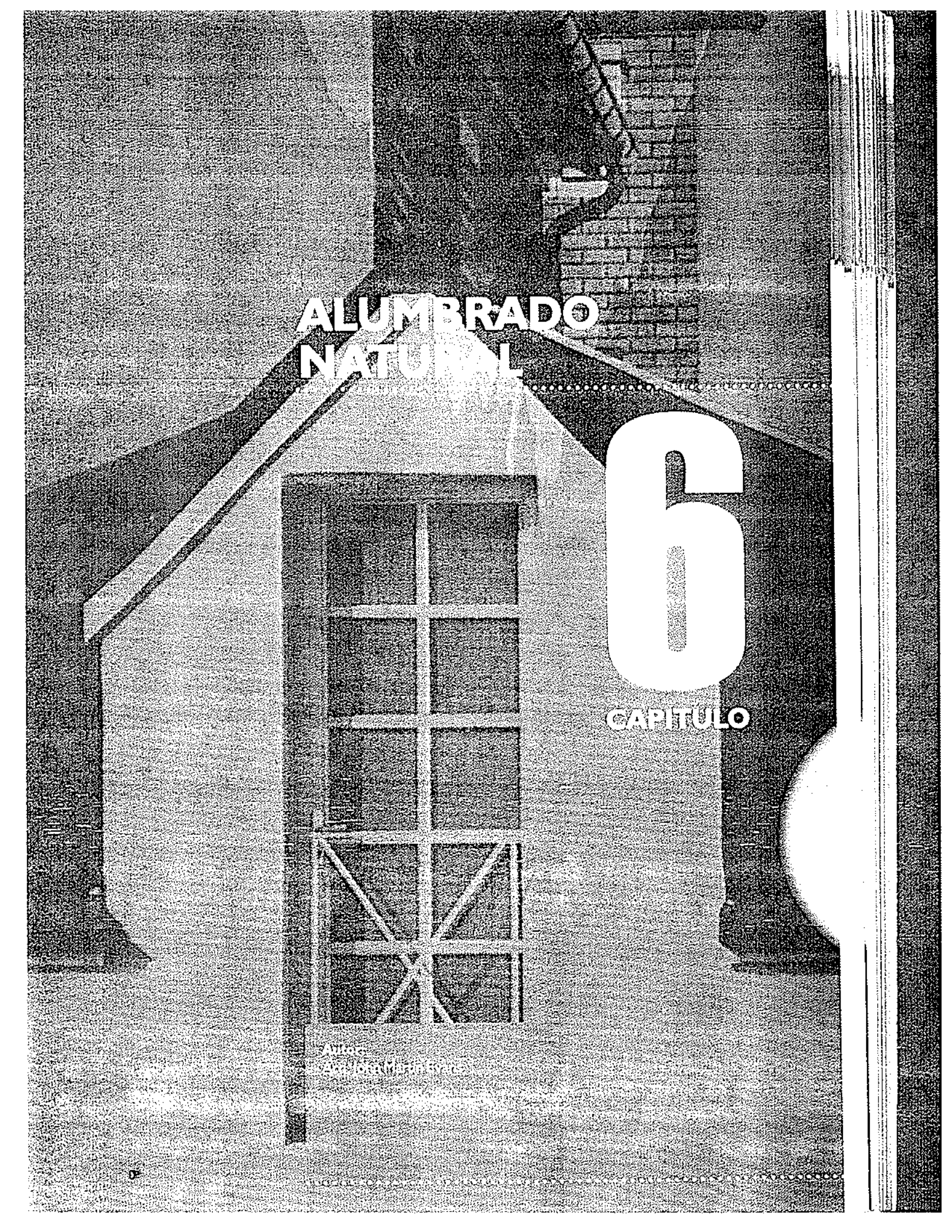
Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

A black and white photograph of a house at night. The house has a steep gabled roof and a large, multi-paned window in the center. A large, dark chimney is visible on the right side of the house. The image is grainy and has a high-contrast, almost stencil-like appearance.

ALUMBRADO NATURAL

6

CAPITULO

Alto

Alto

Alto

Alto

Alto

Alto

Alto

Alto

Alto

Alto

Alto

Alto

I INTRODUCCION

La luz natural proporciona una fuente de iluminación de excelente calidad, que no solamente permite iluminar los espacios interiores y ahorrar energía convencional evitando impactos perjudiciales, sino que logra también realzar la calidad espacial de proyectos de arquitectura y responder a las preferencias de los usuarios. A diferencia de la iluminación artificial, el diseño de la iluminación natural comprende los siguientes condicionantes específicos:

■ La luz natural es muy variable en el tiempo, tanto en su distribución espacial como en sus características espectrales:

- Cambios en distintas horas del día, estaciones del año y latitudes según la altura angular del sol.
- Distribución variable de iluminación difusa y directa según condiciones atmosféricas de nubosidad, humedad y polución atmosférica.

■ Las características de la iluminación natural en interiores se encuentran muy relacionadas con el diseño arquitectónico y el entorno del edificio:

- Obstáculos exteriores, tales como: edificios cercanos, vegetación, etc.
- Características de solados exteriores, especialmente la absorción de luz.
- Tamaño y orientación de las aberturas.
- Tratamiento de aberturas y elementos complementarios: aleros, parasoles, marcos, vidrios, cortinas, persianas, rejas, mosquiteros, toldos, etc.
- Tamaño y dimensiones de los locales y su relación con las aberturas.
- Colores y texturas de las superficies interiores.

El diseño de la iluminación natural tiene una estrecha interacción con aspectos del diseño arquitectónico del edificio, dado que:

- El diseño de la iluminación natural afecta y se relaciona con el aspecto visual del edificio.
- Enfoques estéticos y tendencias arquitectónicas.
 - Sistemas estructurales y tecnología constructiva.
 - La iluminación natural afecta el comportamiento térmico y el confort de los usuarios, en forma directa e indirecta:
 - Aberturas, por ser la fuente principal de pérdidas de calor en invierno.
 - Control de ganancias solares y sobre-calentamiento en verano.
 - Cantidad y distribución de la ventilación natural.
 - Comportamiento acústico de los espacios interiores e influencia de ruidos molestos exteriores.

Las aberturas son elementos con importante ponderación en un proyecto de arquitectura, tanto con relación a su costo total inicial como a su costo en uso. Teniendo en cuenta que, en muchos casos, los elementos móviles tales como cortinas, persianas, hojas de abrir, etc., son necesarios para controlar adecuadamente las condiciones lumínicas, acústicas y térmicas, es importante lograr un diseño apropiado de los mismos en relación al grado de satisfacción de los usuarios.

En la mayoría de los edificios, el proyectista no cuenta con asesoramiento específico o consultores en el campo de la iluminación natural, y tampoco dispone de un presupuesto específico para este requerimiento. El diseño de la iluminación se realiza como parte integral del proyecto arquitectónico, en muchos casos usando criterios subjetivos, sin verificación por métodos numéricos o gráficos.

El diseño apropiado de la iluminación natural permite reducir el consumo de recursos energéticos convencionales, logrando importantes beneficios económicos y ambientales. Los beneficios económicos, adicionalmente a los ahorros en las facturas de electricidad, incluyen la reducción de las cargas térmicas interiores con su impacto en la capacidad y costo de los sistemas de acondicionamiento artificial, la disminución en la frecuencia del reemplazo de los artefactos de iluminación, tubos fluorescentes, etc. Este capítulo tiene por objetivo proporcionar recomendaciones y explicitar técnicas de diseño con el fin de mejorar el aprovechamiento de la iluminación en edificios. Los contenidos están orientados a profesionales y especialistas, a fin de complementar el diseño de instalaciones de iluminación artificial con luz natural.

2 SECUENCIA TEMATICA

A continuación, la secuencia temática adoptada en esta sección del Manual, se estructura en relación con las etapas del proceso de diseño:

- **Sección 3:** Definición de los objetivos
- **Sección 4:** Determinación de los criterios y niveles de iluminación natural en los espacios interiores del edificio, según las actividades a desarrollar y las características arquitectónicas del proyecto.
- **Sección 5:** Evaluación de los recursos de iluminación natural disponible, con sus variaciones por latitud y condiciones climáticas.
- **Sección 6:** Recomendaciones generales del diseño de espacios y aberturas para lograr iluminación natural adecuada.
- **Sección 7:** Estimación de la iluminación sobre el plano de trabajo en interiores, con luz cenital y luz de aberturas verticales, con componentes directos del cielo, reflejados de obstáculos exteriores y reflejados de superficies interiores.
- **Sección 8:** Métodos innovativos de controlar iluminación natural: vidrios especiales: holográficos, prismáticos, electrocrómicos y termocrómicos
- **Sección 9:** Uso de simulación numérica para la evaluación de iluminación natural en interiores.
- **Sección 10:** Mediciones de iluminación natural en edificios existentes.
- **Sección 11:** Mediciones de iluminación natural en maquetas.
 - En un cielo artificial
 - En exteriores con luz natural

3 OBJETIVOS

El diseño y optimización de la iluminación natural de los espacios interiores debe contemplar los siguientes objetivos:

1. Adecuados niveles de luz natural conjuntamente con buena distribución en los espacios interiores según las tareas o actividades previstas: la **Tabla 1** indica los valores de diseño.
2. Condiciones lumínicas aptas para seguridad en casos de emergencia, complementando los sistemas de iluminación artificial de emergencia.
3. Control de iluminación natural para realzar y complementar las características simbólicas, estéticas y espaciales del proyecto arquitectónico.
4. Confort visual, evitando molestias producidas por sol directo, encandilamiento o contrastes excesivos. También requiere el control de reflejos molestos, por ej. sobre vidrios en cuadros, pinturas, pantallas de computadoras, etc.

5. Integración con el proyecto de iluminación artificial.
6. Reducción de demanda de energía e impacto ambiental de edificios con menor uso de iluminación artificial y buen control de radiación solar directa y difusa.
7. Obtener buena relación costo - prestación de los elementos que proporcionan iluminación natural, tanto el costo inicial como el costo en uso.
8. Facilitar el mantenimiento de los elementos que proporcionan y controlan el ingreso de iluminación natural para mantener las condiciones lumínicas a través del tiempo, incluyendo el acceso a los elementos y componentes en las aberturas para limpieza, mantenimiento preventivo y reparación.

Todos los proyectos de iluminación natural responden a estos objetivos, aunque cada caso tendrá requisitos específicos y aspectos de mayor importancia que se deben identificar antes de iniciar los estudios de iluminación natural.

Tabla 1 Valores mínimos de iluminación natural en espacios domésticos, lux

Ambiente	Nivel General	Plano de Trabajo	Nivel específico
Cocina	100	Lugar de preparado	150-200
Sala Estar	50	Escritorio	150
Comedor	50	Mesa	100
Dormitorio	25	Tocador	100-150
Circulación	20*	Escalones	50
Baño	20*	Frente al espejo	100
			200 plano vertical
Cochera	20*	Banco de trabajo	100

Nota: Norma IRAM-AADL J 20-03, Tabla III indica valores de otras actividades, considerando que los niveles pueden ser levemente inferiores a los indicados para iluminación artificial, por variación en el ángulo de incidencia, mayor iluminancia sobre superficies verticales y preferencias de los usuarios.

4 CRITERIOS DE ILUMINACION NATURAL

La cantidad de iluminancia requerida sobre el plano de trabajo depende de la tarea a desarrollar, según muestra la **Tabla 1** que presenta valores indicativos. Los niveles mínimos establecidos a nivel internacional son muy variados, aunque presentan una tendencia a reducir las exigencias en las últimas décadas con el fin de evitar consumos excesivos de energía en iluminación artificial y reducir los reflejos molestos en pantallas de computadoras, etc. Debido a la variabilidad de la iluminación natural y la adaptación del ojo, es común que los usuarios acepten niveles menores a los establecidos para iluminación artificial durante periodos reducidos. Las normas no establecen niveles máximos, ya que el ojo humano puede adaptarse a valores muy superiores a los mínimos sin problemas, salvo en espacios exteriores con luz solar directa muy intensa y superficies muy claras.

Los niveles de iluminación natural en los espacios interiores del edificio serán muy inferiores a los niveles de iluminación exterior sin obstáculos. Además, los niveles son muy variables en el tiempo, y por eso, la cantidad de iluminación natural en interiores se expresa como porcentaje de la iluminación exterior, considerando la luz de un cielo nublado. Ese porcentaje indica el FLD, Factor de Luz Diurna (daylight factor), también conocido como FIN, Factor de Iluminación Natural, **figura 1**.

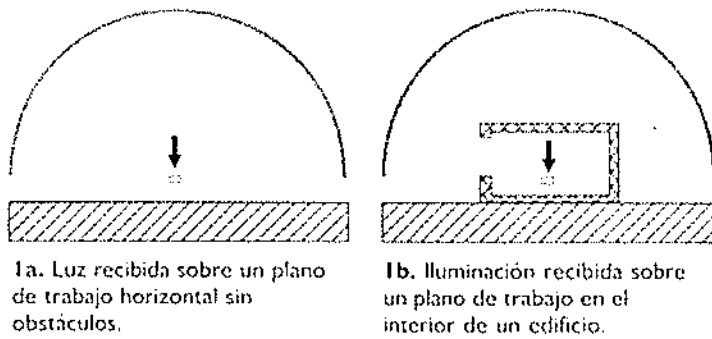


Figura 1
Factor de luz diurna: Luz interior expresada como porcentaje de luz exterior sin obstáculos.

La envolvente de un edificio constituye un verdadero filtro de las influencias exteriores, aprovechando las favorables o controlando aquellas que producen impactos perjudiciales, con el objetivo de optimizar las condiciones interiores. La luz natural se incluye entre los factores externos que modifican las condiciones interiores de un edificio.

El sol es la fuente principal de luz natural, aunque una parte de los rayos solares que llegan a la Tierra es reflejada o refractada por el polvo o las partículas atmosféricas produciendo iluminación difusa desde el cielo. Por consiguiente, las condiciones de la

atmósfera de una localidad, combinadas con la altura angular del sol, determinan la intensidad y distribución de la luz recibida en un edificio.

Si bien la iluminación natural depende de las condiciones exteriores, el proyectista puede controlar o aumentar su transmisión y mejorar su distribución a través del diseño del edificio, mientras que la iluminación artificial, independiente de la localización o el clima, se encuentra bajo el control total del proyectista, principalmente con la selección y ubicación de luminarias, complementado por los colores y texturas de las superficies. La luz natural incide en el interior de un local, sobre el plano de trabajo o sobre las superficies a iluminar, considerando los siguientes componentes alternativos o complementarios, **figura 2**.

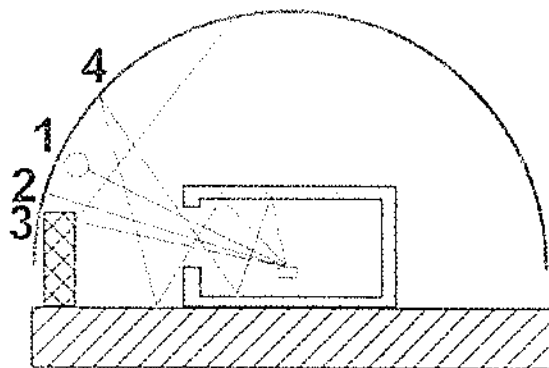


Figura 2
Componentes de iluminación natural:
1. Luz directa del sol
2. Luz difusa del cielo, claro o nublado
3. Luz reflejada desde elementos exteriores, edificios, vegetación, etc.
4. Luz reflejada desde superficies interiores, con múltiples caminos.

- **Luz solar directa:** la intensidad de la luz puede ser reducida por la absorción de la atmósfera y la polución aérea.
- **Luz difusa desde la bóveda celeste:** la distribución de la iluminación varía según las condiciones del cielo, cielo claro, cielo parcialmente nublado o cielo cubierto.
- **Luz reflejada desde superficies exteriores:** por el suelo y/o los paramentos de otros edificios.
- **Luz reflejada de superficies interiores:** por paredes, cielorrasos u otras superficies dentro del local.

Protección solar

Una de las principales funciones de las aberturas es la provisión de luz natural y, por consiguiente, su diseño deberá asegurar adecuados niveles de iluminación natural de calidad o distribución apropiada para las tareas previstas en el interior del local. Al mismo tiempo, se debe evitar la iluminación natural excesiva por las siguientes razones:

- La radiación solar, directa, difusa y/o reflejada, especialmente en épocas cálidas, puede aumentar la temperatura interior de un edificio o aumentar excesivamente la demanda de energía requerida para acondicionamiento artificial.
- La luz intensa puede causar deslumbramiento poco agradable que dificulta tareas visuales, provocando ineficiencia, cansancio y, eventualmente, daño a los ojos.
- Los fuertes contrastes entre superficies con altos niveles de iluminación y superficies sin iluminación directa también pueden provocar discomfort visual.

La luminosidad de una pared blanca o superficies reflectoras muy claras llega a exceder las 2500^o candelas por m² (cd/m²), límite a partir del cual el reflejo resulta poco confortable. Para evitar este efecto, generalmente provocado por la luz solar directa, será aconsejable proporcionar protección controlando su incidencia sobre el plano de trabajo aún cuando las temperaturas interiores se mantengan por debajo del nivel de confort.

En el caso de viviendas, el ingreso de sol directo o los reflejos no constituyen un problema grave debido a que existe cierta flexibilidad en el uso de los espacios, pero dicho problema tendrá mayor importancia en aquellos edificios que deben responder a funciones específicas, por ejemplo, los destinados a oficinas, escuelas, fabricas, museos, bibliotecas, hospitales, etc., donde los lugares de trabajo son fijos o permanentes por el tipo de actividad a realizar en ámbitos determinados. En algunos casos, tales como salas de exposición y museos, la luz directa del sol debe ser excluida, debido al deterioro que puede provocar en pinturas, telas, materiales orgánicos o plásticos sintéticos.

Los edificios bien orientados con respecto al sol tienen menos probabilidad de sufrir los efectos del brillo o reflejo provocado por la luz solar directa. Si bien ésta podrá reducirse mediante el uso de vidrios coloreados de baja transmitancia, es preferible evitar el problema con aportes de diseño y utilizando mecanismos de protección apropiados ya que el uso de dichos vidrios podría llegar a disminuir los niveles de iluminación por debajo de los estándares adecuados en días invernales con cielo nublado.

5 ILUMINACION NATURAL Y SU RELACION CON EL CLIMA

Las condiciones climáticas tienen gran influencia respecto a la cantidad total de luz natural o en la magnitud relativa de sus componentes directos, difusos y reflejados. En todos los climas se puede recibir iluminación natural de distintas formas: predominantemente luz directa del sol, luz difusa de un cielo totalmente nublado o una combinación de luz directa del sol y luz reflejada por nubes. En Argentina, como en otras regiones del mundo, se pueden caracterizar situaciones climáticas que influyen en la cantidad y calidad del recurso luminoso natural, según se indica en la *tabla 2*.

Tabla 2 Iluminación natural sobre superficie horizontal, en invierno, sin obstáculos

Condición	Latitud	Iluminación lux 8 y 16 hs.	Iluminación lux 10 y 14 hs.	Iluminación lux 12 hs.
Nublado, valor medio	30°	7500	12500	13500
Nublado, valor medio	34°	4000	12000	13000
Nublado, valor medio	38°	1000	11500	12000
Cielo nublado de diseño	30-55°		5000	
Cielo claro con sol (medición)	34° S	20000	47000	58000

Fuentes: Norma IRAM-AADL J 20-02 (1969) y mediciones propias (1999-2001).

5.1 Condiciones en climas cálido-húmedos con cielos nublados:

En localidades donde el cielo cubierto es condición predominante o crítica de diseño (por ej. Tucumán o Posadas), la bóveda celeste constituye la fuente principal de luz natural. En bajas latitudes, la luminosidad es suficientemente alta (700^o cd/m²) durante la gran mayoría del año para proveer adecuados niveles de iluminación natural dentro de los locales sin necesidad de aberturas de gran tamaño. La energía térmica aportada en el caso de excesiva iluminación puede causar sobre-calentamiento y, por lo tanto, mayor discomfort que una limitada iluminación.

La iluminación natural en los espacios interiores deberá ser suficiente, aún cuando las aberturas estén protegidas por razones térmicas, para excluir del campo visual superficies muy claras que pudieran causar reflejos, o para proteger de la luz solar directa. El brillo del cielo es más intenso en ángulos de mayor altitud, por lo cual es aconsejable el uso de aleros o la ubicación de aberturas con vistas hacia el horizonte donde el brillo es menor.

Generalmente, la reflexión desde el suelo natural no constituye un problema, ya que en estos climas no suelen ser de alta reflexión, o pueden cubrirse fácilmente con vegetación. Asimismo, la luminosidad proveniente del cielo puede ser controlada mediante el uso de celosías, plantas u otros filtros. Las aberturas amplias son deseables en estos climas a fin de permitir el movimiento del aire, asegurando la ventilación cruzada con amplios aleros o galerías que proporcionan sombra y protección de la lluvia.

Los criterios de diseño en relación con la iluminación natural en estos climas son:

- Vistas hacia el cielo, cercano al horizonte o hacia el suelo (aprox. $\pm 20^\circ$).
- Vistas controladas hacia superficies exteriores claras que provoquen destellos.
- Cielorrasos, difusores de color claro que reflejan la luz de estas superficies.

5.2 Condiciones donde predomina el cielo claro

Los climas cálido-secos y desérticos (*San Juan, La Rioja, etc.*) se caracterizan por la intensa radiación solar, proveniente de un cielo sin nubes, de color azul profundo, cuya luminosidad alcanza 170° cd/m^2 aprox., con mayores valores cerca del horizonte. El polvo atmosférico puede incrementar esta luminosidad hasta aprox. $1000^\circ \text{ cd/m}^2$, mientras las tormentas de polvo pueden disminuirla.

Se deberá evitar la luz solar directa por razones térmicas y por posibles destellos o reflejos,

especialmente en los meses de mayor calor y horas con gran altura angular del sol. En estos casos, conviene utilizar ventanas de tamaño controlado, que proporcionan vistas hacia el cielo claro de baja luminosidad que, sumado a la escasa proporción de cielo visible desde el interior, limita la iluminación natural proveniente de esta fuente, ver *figura 3*.

El suelo y las superficies de colores claros exteriores reflejan luz hacia el interior de los edificios. La luz reflejada internamente resulta la forma más conveniente y confortable de iluminación natural. La luz reflejada hacia el cielorraso de color claro, proporciona una buena distribución de la iluminación en el interior del local, con ventanas relativamente pequeñas.

Si se utilizan mecanismos de protección solar, estos deberán contemplar los problemas de iluminación o reflejos, mientras que las ventanas bajas serán más aceptables si abren a patios protegidos, con sombras y vegetación. Cuando la exposición visual a la luz solar directa es inevitable, se puede reducir el fuerte contraste luminoso entre la ventana y el resto de la habitación pintando la superficie de la pared adyacente o el marco de la ventana con colores claros, o bien ubicando otras aberturas en paredes opuestas o laterales de modo que reflejen iluminación sobre la pared aventanada.

5.3 Climas compuestos con equilibrio entre cielos claros y nublados

Estos climas experimentan una combinación de días con cielo cubierto y con cielo claro, por estaciones o secuencias de días.

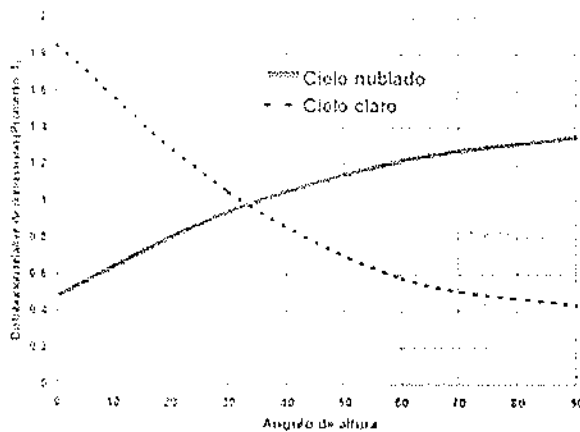


Figura 3
Distribución relativa de la iluminación según las condiciones del cielo: nublado o claro (sin sol directo).

La solución tradicional a este problema es una pantalla-filtro que reduce la luminosidad o evita los reflejos al mismo tiempo que permite el movimiento de aire o proporciona cierta privacidad. Los elementos móviles pueden ajustar o modificar las características de luz según los distintos requerimientos.

5.4 Climas templados y fríos en latitudes altas con cielo nublado

El criterio utilizado en estos climas de regiones australes es asegurar niveles de iluminación natural adecuados en el interior de los locales bajo las condiciones más desfavorables. Esto ocurre cuando la luminosidad de la bóveda celeste es baja debido al cielo cubierto.

La situación con cielo despejado no resulta problemática en estos climas aunque, como en otros casos, también resulta aconsejable evitar la luz intensa o excesiva en el interior de los edificios durante el verano, cuando el cielo es límpido o brillante, o cuando la luz solar reflejada por el suelo u otras superficies es intensa. El problema principal es obtener suficiente luz en días nublados con limitados niveles de iluminación en el exterior.

5.5 Variación de la iluminación en el ciclo diario

La cuantificación de los niveles de iluminación natural interior resultantes de la luz reflejada o recibida desde el cielo claro, es mucho más compleja que el cálculo de iluminación proveniente de un cielo cubierto. Para ilustrar algunos conceptos, se presenta un ejemplo que considera una abertura orientada al E, abierta a un pequeño patio, que tiene similares condiciones durante días con cielo despejado o cubierto, ya que la calidad o cantidad de luz resultan cambiantes en ambos casos.

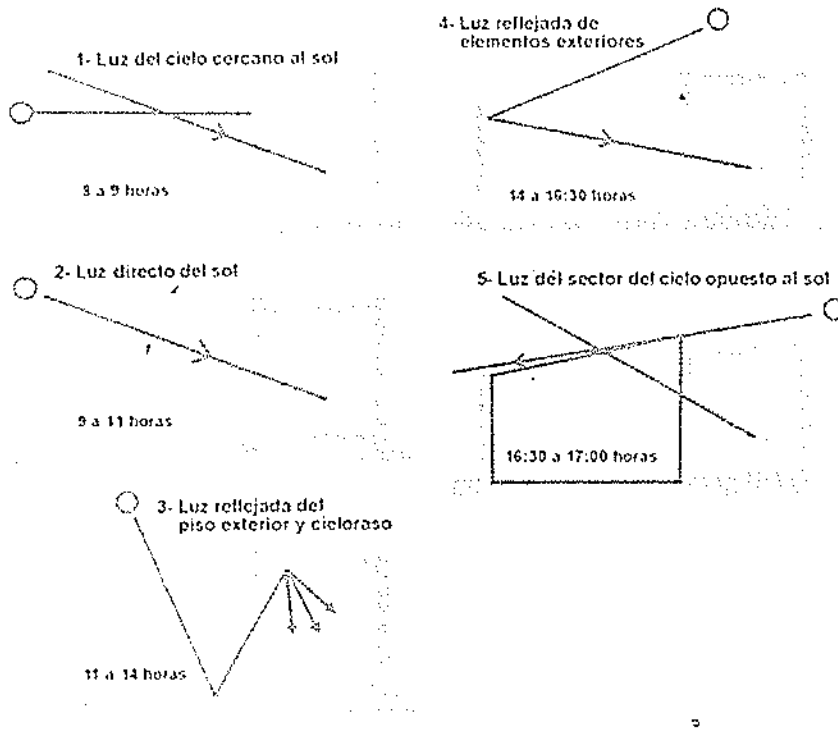


Figura 4
Variaciones en la calidad de la luz con cielo claro durante el transcurso del día.

1. A la mañana temprano, la abertura recibe luz del cielo cercano al sol con posible brillo y contraste con los elementos exteriores.

2. Durante la mañana, la abertura recibe sol directo de baja altura, difícil de evitar. Requiere protección móvil, o elementos translúcidos de baja transmitancia.

3. Mas tarde, el dintel intercepta los rayos solares. El sector E del cielo continúa siendo la fuente principal de iluminación, con reflejos del piso exterior y cielorraso.

4. A medida que el sol se inclina hacia el O en las primeras horas de la tarde, el edificio arrojará sombras sobre el suelo exterior cercano a la ventana, y la pared opuesta reflejará la luz solar, convirtiéndose en la fuente principal de iluminación.

5. Finalmente, hacia la puesta del sol, la pared opuesta quedará en sombra y el cielo claro volverá a ser la fuente principal de luz. En este caso, la iluminación proviene del sector del cielo opuesto al sol, el cual no es tan brillante como el cielo que proveía iluminación durante la mañana.

Surge como conclusión que en menos de 12 horas, durante el transcurso del día, la habitación recibió iluminación desde 5 fuentes distintas: sol directo, sector del cielo cercano al sol, reflejada desde el suelo, reflejada desde la pared opuesta, y desde el sector del cielo opuesto al sol. La dirección principal de la luz también varió: hacia abajo, hacia arriba y en forma horizontal.

Paradójicamente, hay mayor necesidad de cuantificar y calificar la luz natural en situaciones de cielo despejado, como las que se encuentran en climas cálidos y desérticos, debido a los problemas de reflejos o aumento de temperatura por efecto de la radiación solar, causantes de mayor discomfort que las condiciones de cielo cubierto.

La luz proveniente de un cielo despejado desde el cuadrante opuesto al sol, es casi la misma que la de un cielo cubierto en latitudes mayores a 50°. Sin embargo, existen diferencias importantes entre estas dos condiciones:

- El cielo cubierto es más brillante hacia el zenit, mientras que el despejado lo es hacia el horizonte (Figura 3). A iguales condiciones de brillo total, este último iluminará más profundamente un local.
- El cielo despejado está también asociado con la luz reflejada, y las obstrucciones externas, aun cuando no estén directamente iluminadas, reflejarán más luz que las iluminadas por un cielo cubierto.

6 ESPACIOS ENTRE EDIFICIOS

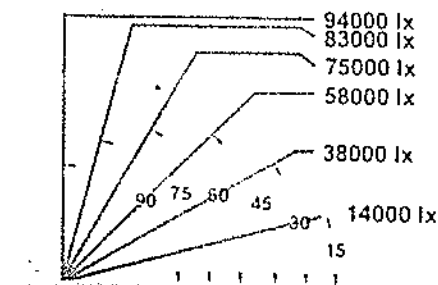


Figura 5
Iluminación directa del sol
según altura angular.

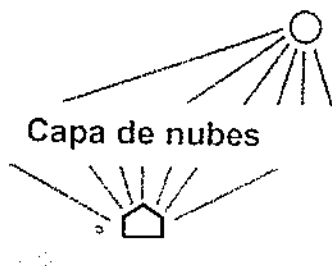


Figura 6
Iluminación proveniente de
cielo cubierto, que actúa
como capa difusora.

El espacio entre edificios debe ser suficiente para permitir adecuados niveles de iluminación natural en los locales principales (*espacios habitables en viviendas, aulas en escuelas, oficinas, etc.*) durante la mayor parte del año. La separación entre edificios que se requiere

para proporcionar adecuado asoleamiento en invierno, asegura también buenos niveles de luz natural. En latitudes más australes, donde decrece la altura del sol y disminuye la cantidad de luz disponible, se requerirán espacios más amplios. Como se ha indicado anteriormente, la luz natural disponible depende de la altura del sol y la nubosidad. Los niveles mínimos de iluminación natural ocurren con bajas alturas de sol y cielo cubierto, en cuyo caso, la iluminación del cielo es muy pareja y la orientación de la ventana no es un factor determinante.

Con orientaciones menos favorables, los locales pueden no contar con asoleamiento directo. En estos casos, la necesidad de iluminación natural será crítica para el dimensionamiento de los espacios exteriores entre edificios, de acuerdo a sus alturas.

Como valores orientativos se indican los ángulos de iluminación natural, de acuerdo a los niveles requeridos:

Tabla 3 Calidad de iluminación según la altura de los obstáculos

Nivel de iluminación natural (oficinas convencionales)	Ángulo de iluminación
Buena, iluminación hasta 4m de la ventana	20°
Normal, iluminación hasta 2,50 m de la ventana	30°
Reducida, iluminación hasta 2 m de la ventana	35°
Mínima, iluminación hasta 1,50 m de la ventana	40°
Mínimo (baños, circulaciones, etc.)	50°

Con variaciones de altura en el perfil de la línea de edificación, se puede recibir iluminación por los laterales de los edificios de mayor altura y/o por encima de los techos de los más bajos.

Figura 7
Iluminación natural con variaciones en el perfil de la edificación. Alternativas: por encima de fachadas continuas o por los costados de torres.

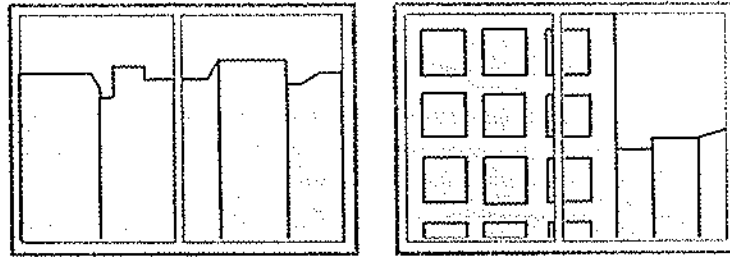
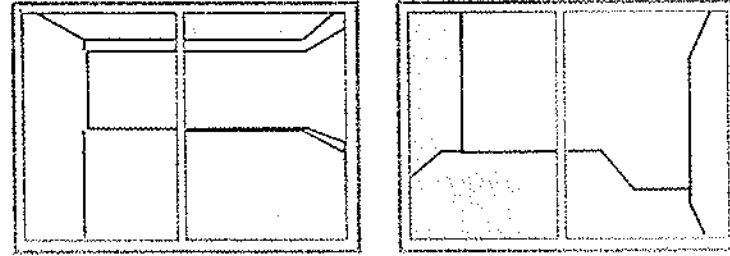


Figura 8
Los balcones y distintas proyecciones reducen la luz natural disponible en el interior de un edificio.



El aumento del tamaño de las aberturas puede proporcionar mas luz natural, aunque no es aconsejable utilizar grandes ventanas orientadas hacia el S y al O, ya que en el primer caso las pérdidas de calor son elevadas y, en el segundo, la radiación solar en las tardes de verano será excesiva.

6.b. Control de altura edilicia para iluminación

Para lograr niveles de iluminación natural adecuados en edificios de vivienda dispuestos en bloque, "barra" o "tira" podrá definirse el limite mediante un ángulo de 35° medido desde el horizonte a la altura del antepecho de ventanas o del plano de trabajo, a un metro sobre el nivel del piso, hasta el limite superior del edificio situado frente a la abertura. Como la iluminación natural resulta más crítica en los locales de planta baja, las líneas de retiros que se establecen para controlar la altura se miden desde la fachada de planta baja y no desde el centro de la calle como se aplica habitualmente en los códigos municipales.

Para la mayoría de las actividades que se desarrollan en el interior de los edificios, se puede verificar el nivel de iluminación natural con un método simplificado. La iluminación interior depende de la altura de los obstáculos frente a la fachada. La altura angular del edificio situado frente a la abertura debe ser menor a 30° para obtener adecuada iluminación directa desde el cielo por encima del techo del edificio ubicado frente a la abertura. En zonas del país ubicadas al N de latitud 40° S, las obstrucciones podrán llegar hasta el ángulo limite de 35° desde un punto ubicado sobre el plano de trabajo hasta el techo del edificio situado frente a la ventana, ver figura 9.

El segundo paso es establecer los límites de la zona interior a verificar en corte según la figura 10. Si desde la superficie de trabajo se pueden trazar visuales directas al cielo, es probable que la iluminación natural sea suficiente. En los casos críticos donde los obstáculos exteriores son mas altos o los locales más profundos requieren un cálculo más preciso de iluminación natural.

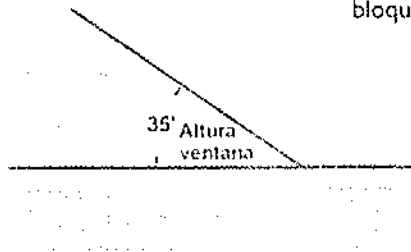


Figura 9
Control de la altura edilicia para lograr iluminación natural.

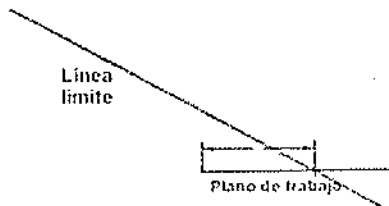


Figura 10
Prueba de verificación: línea limite de vista al cielo. Indica la profundidad del local con adecuada iluminación en situaciones urbanas.

7 METODOS DE CALCULO DE ILUMINACION NATURAL

En general, y en la gran mayoría de condiciones climáticas, la situación más crítica es un cielo nublado con limitada luz difusa invernal. Al respecto, se establece a continuación el nivel de iluminación de diseño disponible en espacios exteriores sin obstáculos. Para condiciones críticas de invierno con cielo nublado, se considera apto un valor de diseño de 5.000 lux, aunque se puede adoptar valores alternativos según la ubicación geográfica, requerimientos funcionales del local y proporción de horas con luz cuando se requiere iluminación natural. La Tabla 2 indica niveles de luminancia para distintas latitudes y condiciones del cielo.

7.1 Valores de diseño de la iluminación en interiores

El segundo paso es determinar los niveles deseables de iluminación natural en interiores de edificios. Si bien la Tabla 2 presenta valores indicativos, los niveles óptimos pueden depender de factores tales como disponibilidad y costo de energía convencional, necesidad de instalar equipos de refrigeración para evitar sobrecalentamiento, cambios de uso del edificio a mediano y largo plazo, etc.

7.2 Transmisión de las aberturas

El tercer paso es estimar la proporción de iluminación natural transmitida por las aberturas, considerando la transmisión del vidrio u otro material transparente o translucido, la superficie de marcos y la influencia de limpieza y mantenimiento. La Tabla 4 muestra la transmisión de luz visible de vidrios y otros materiales, la Tabla 5 indica los factores de disminución de la transmisión debido a marcos, rejas, mosquiteros, parasoles, persianas, etc., y la Tabla 6 presenta el factor de corrección según las condiciones de la localidad y la frecuencia de limpieza.

La transmisión total es el producto de los siguientes valores de transmisión y de corrección:

- Transmisión del vidrio u otro material translucido o transparente, según tipo y número de hojas, etc.
- Corrección por la proporción de la abertura con marco.
- Corrección por otras obstrucciones, como rejas, parasoles, mosquiteros, etc.
- Corrección por la suciedad depositada sobre el vidrio.

Tabla 4 Transmisión de Vidrios

Tipo de vidrio	Luz visible	Radiación
Sin vidrio	1.0	1.0
Vidrio incoloro simple de 4 mm	0.89	0.84
Vidrio laminado	0.89	0.82
Vidrio común doble con cámara de aire (4mm + 4mm)	0.80	0.74
Vidrio común con capa de baja emisividad "low e"	0.80	0.80
Vidrio común, cámara y vidrio "Evergreen" 6+12+6 mm	0.59	0.39
Vidrio común, cámara y vidrio reflectivo 6+12+6 mm.	0.27	0.24

Nota: El valor de la transmisión de la radiación solar incluye una proporción de la radiación absorbida por el vidrio que contribuye a la carga térmica interior.

Tabla 5 Factores de corrección para disminuir la luz natural

Tipo de Abertura y elementos de disminución de luz	Factor de corrección
Abertura sin vidrio	1,10 - 1,20
Abertura con vidrio simple de 4 mm	1,00
Abertura con doble vidrio	0,90
Vidrio esmerilado	0,90 - 1,00
Mosquitero	0,60 - 0,80
Rejas	0,90 - 0,95
Tela de protección solar	0,15 - 0,40

Nota: los factores son acumulativos: rejas + vidrio doble = $0,9 \times 0,9 = 0,81$

7.3 Iluminación en interiores

Los métodos para establecer el valor de la iluminación sobre el plano de trabajo dependen de la ubicación e inclinación de las aberturas: ventanas verticales que proporcionan luz lateral y ventanas horizontales o con escasa inclinación que captan luz cenital.

7.4 Luz cenital

Las aberturas horizontales o inclinadas hasta 30° aproximadamente proporcionan luz cenital que llega en forma predominantemente vertical al plano de trabajo. Este ángulo ofrece las siguientes ventajas:

- Mayor disponibilidad de luz de sectores del cielo con mayor altura angular, permitiendo menor tamaño de aberturas con el mismo ingreso de luz.
- Buen aprovechamiento de la luz sobre superficies horizontales o levemente inclinadas.
- Fácil control de la iluminación intensa y reducción del discomfort visual, dado que la fuente de luz se encuentra fuera del campo visual normal.

La luz cenital padece de las siguientes desventajas:

- Las ventanas horizontales tienen mayores pérdidas de calor en invierno, debido a la acumulación de aire de mayor temperatura en los espacios más altos por efecto de convección y mayor exposición de las aberturas en el techo.
- Mayor peligro de sobrecalentamiento en verano, debido a la mayor intensidad de la radiación solar sobre superficies horizontales (hasta 1000 watts / m^2), especialmente en latitudes medianas y bajas.

En el caso de iluminación natural cenital, el aporte de luz reflejada de las paredes, techos y pisos son despreciables, aunque los colores claros pueden mejorar la calidad de iluminación y lograr mayor confort visual. Como primera aproximación, la formula siguiente indica I_{int} , la iluminancia interior sobre superficie horizontal.

$$I_{int} = I_{ext} \times (S_a / S_t) \times T_v \times C_m \times C_{obs} \times C_{mant}$$

Siendo S_t = Superficie del techo

S_a = Superficie de abertura en el techo

T_v = Transmisión del vidrio o material translucido o transparente.

C_m = Corrección, proporción de la abertura con marco.

C_{obs} = Corrección, proporción libre de rejas, parasoles, etc.

C_{mant} = Corrección, factor de mantenimiento, generalmente 90%

Alternativamente:

$$FLD = 100 \times (I_{int} / I_{ext}) = 100 \times ((S_a / S_t) \times T_v \times C_m \times C_{obs} \times C_{mant})$$

Conviene mantener un FLD menor a 15-20% con el fin de controlar el sobrecalentamiento. Los resultados de las fórmulas son válidas para locales con múltiples aberturas distribuidas en el techo y alturas limitadas. En locales altos, con paredes oscuras y/o con aberturas distribuidas de manera no uniforme, el valor del FLD será menor.

7.5 Luz a través de ventanas verticales

Utilizando el "Factor de Luz Diurna", se puede calcular la intensidad de luz que recibe una superficie sobre el plano de trabajo en el interior de un edificio desde la bóveda celeste, a través de ventanas verticales. Ello corresponde a la situación típica de oficinas, escuelas, viviendas, fabricas y talleres en edificios de dos o más pisos. El método indica la cantidad de luz natural que llega a dicha superficie como proporción del total recibida desde la bóveda celeste sin obstrucciones como suma de los siguientes componentes:

- **Componente directo (CD)** El CD es la proporción de luz que llega a la superficie directamente desde la bóveda celeste.
- **Componente reflejo externo (CRE)** Es la proporción de luz que llega después de ser reflejada por las superficies externas.
- **Componente reflejo interno (CRI)** Es la proporción de luz reflejada por las superficies interiores antes de llegar al plano de trabajo.

Los dos primeros componentes pueden calcularse mediante el procedimiento que se detalla a continuación para estimar la iluminación recibida a través de aberturas vidriadas verticales. A tal fin, se utiliza la planilla y el gráfico de Factor de Luz Diurna que se presenta en el Anexo.

Componente directo (CD):

- 1 Se eligen puntos representativos de la superficie a verificar en la planta de un local, donde se requiere iluminación natural: por ejemplo, puestos de trabajo, pupitres en aulas y bancos de trabajo en talleres, etc.
- 2 Sobre dicha planta se dibuja una línea desde cada punto elegido en sentido perpendicular al vidrio. Conviene establecer una grilla simétrica respecto a la abertura con el fin de reducir el número de puntos a evaluar. Es posible que en ciertos casos esas líneas no pasen por la ventana sino por la pared.

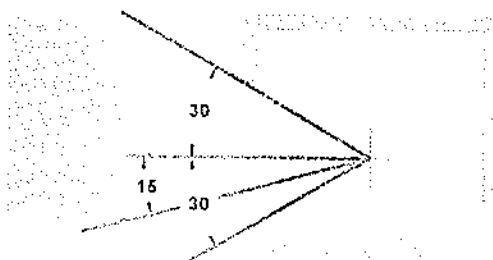


Figura 11
Línea perpendicular
y límites angulares de
la abertura en planta.

3 Se miden los ángulos entre esa línea y otras trazadas desde el punto a verificar hasta los límites laterales de la abertura, **figura 11**. Si hubiese más de una ventana en el local, se miden dos ángulos en planta para cada una.

4 Sobre un corte del local, se miden los ángulos comprendidos desde el horizonte a la altura del plano de trabajo y las líneas entre el punto y los límites superior e inferior de la abertura. Si el antepecho fuese inferior al

plano de trabajo, uno de los ángulos será igual a cero, porque no se recibe luz de la bóveda celeste desde el sector situado por debajo del horizonte. Si hubiese un obstáculo entre el punto y la abertura, se mide el ángulo desde el punto hasta la línea trazada entre el punto y el límite del obstáculo.

5 Los cuatro ángulos definen los límites angulares de la vista directa del cielo desde el punto elegido. Los dos ángulos que se miden en el plano (*lados verticales*) corresponden a las líneas paralelas verticales en el gráfico de Factor de Luz Diurna, *figura 17*. La línea central de este gráfico corresponde a 0° perpendicular al vidrio. Cada línea se ubica a la derecha o a la izquierda de esa línea central. Los dos ángulos del corte corresponden al lado inferior y superior de la ventana. Las líneas curvas del gráfico representan dichos límites angulares. La línea horizontal, base del gráfico, corresponde al horizonte y cada curva representa un incremento de 10° a partir del mismo.

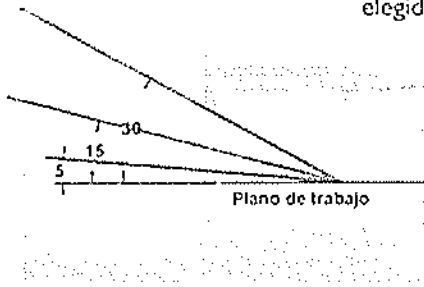
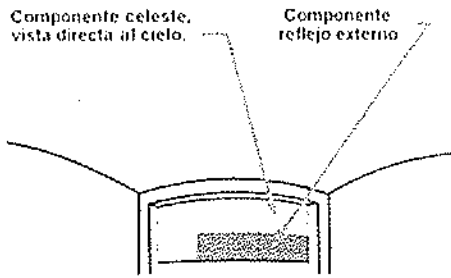


Figura 12
Plano de trabajo y límites angulares de la abertura en corte.



El total del número de puntos en cada sector indica el porcentaje de luz de cada sector.

Figura 13
Ejemplo de estimación del componente celeste y componente de reflejo externo.

6 El área del gráfico definido por los ángulos, representa una proyección del cielo visible desde el punto elegido. El número de puntos en esta área representa la proporción de luz natural que proviene de la bóveda celeste; cada punto corresponde a un FLD de 0,05%. La distribución de los puntos en el gráfico toma en cuenta la transmisión del vidrio según el ángulo de incidencia de la luz y la distribución de la iluminación proveniente de la bóveda celeste según la altura angular.

Componente reflejo externo (CRE)

7 Un obstáculo expuesto a la luz directa refleja una proporción de luz del cielo. Se miden los ángulos que delimitan los bordes visibles desde el punto en planta y corte, y se suman los puntos que corresponden al obstáculo exterior, utilizando el procedimiento anterior (1 a 6). En general, se puede considerar que el obstáculo refleja solamente el 20% de la luz proveniente de este sector del cielo. Por tal razón, se multiplica el total por 0,2 para estimar el componente reflejado desde el exterior.

Coefficiente de reflexión interna (CRI)

8 El coeficiente de reflexión interna depende de los siguientes factores: cociente entre el área de abertura y la superficie de la habitación, factor de reflexión del piso y factor de reflexión promedio de las paredes. Con estos datos se puede consultar la *Tabla 6* para encontrar el valor del coeficiente de reflexión interna.

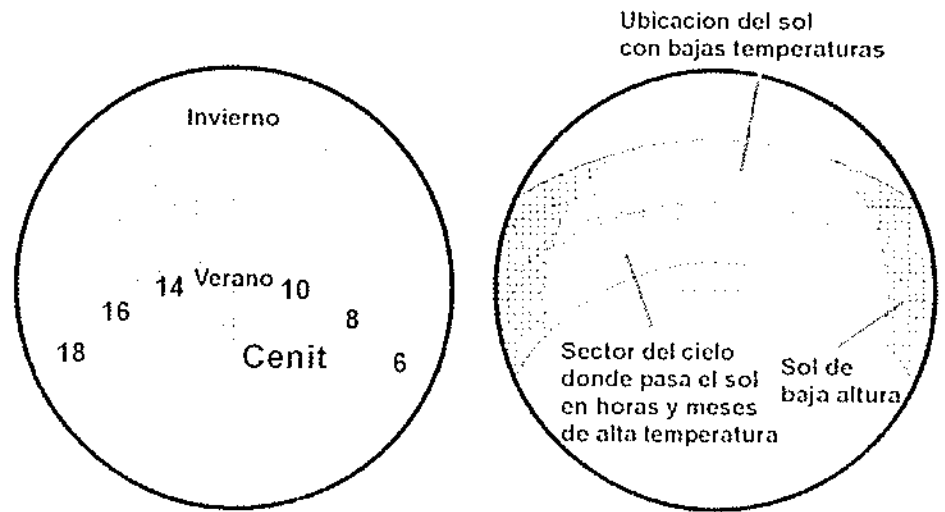
Dicha tabla indica los valores del CRE correspondientes a una habitación de 3 m x 3 m aproximadamente cuyo cielorraso tiene un factor de reflexión de 70% y donde las obstrucciones exteriores no superan una altura angular de 20° . Con otras condiciones de diseño se pueden utilizar los factores de corrección indicados en la *Tabla 7*. La *Tabla 8* indica valores típicos de reflexión de materiales.

9 La suma de los tres componentes, corregida por las características de transmisión de la abertura, permite obtener el Factor de Luz Diurna. Finalmente, la cantidad de luz sobre el plano de trabajo es el producto del Factor de Luz Diurna y la iluminación disponible desde un cielo nublado. La *Tabla 9* presenta una planilla de cálculo para iluminación natural y la *figura 17* indica la distribución del componente celeste.

7.6 Protección solar

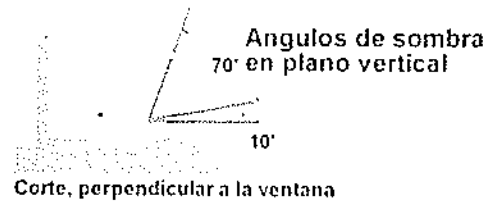
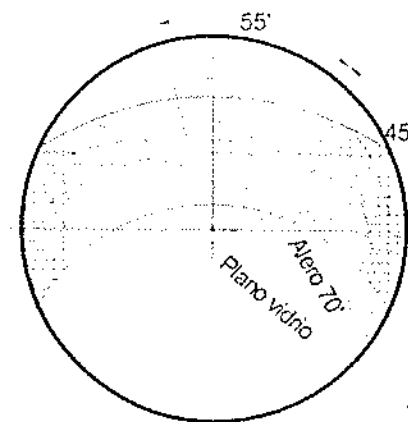
La *figura 14* indica el procedimiento para lograr la protección (o aprovechamiento) de la radiación solar directa. Las trayectorias para latitudes 24, 28 32, 36, 40, 45, 50 y 55° Sur están publicadas en Evans y de Schiller, 1996.

Si no fuese posible modificar las ventanas con orientaciones desfavorables, tales como al O. o vidrios horizontales, la protección móvil puede ofrecer una solución parcial.

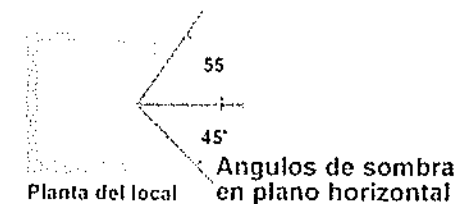


14a. El diagrama de la trayectoria del sol para la latitud correspondiente al edificio en estudio indica la ubicación del sol en el cielo según mes del año y hora del día. La circunferencia representa el horizonte y el centro del círculo representa el cenit.

14b. Sobre la trayectoria, se indican el sector del cielo donde pasa el sol cuando se necesita protección, por ej. en las tardes de verano, por molestias visuales (sol de baja altura a la mañana o tarde) o horas cuando se quiere aprovechar la radiación.



14c. Colocar el diagrama de sombras, trazado en papel calco sobre la trayectoria del sol con la línea de base sobre la línea que representa el plano del vidrio, orientado hacia el exterior de la abertura.



14d. Seleccionar ángulos correspondientes a elementos verticales laterales (rayos rectos) y/o aleros horizontales (líneas curvas) que protegen del sol directo indeseable y permiten el sol favorable.

Figura 14

Diseño de parasoles y elementos de protección de sol directo.

8 INNOVACIONES EN ILUMINACION NATURAL

Existen métodos innovadores para controlar y mejorar la calidad o cantidad de iluminación natural en interiores, tales como:

Estantes de luz: Elementos horizontales en aberturas con superficies superiores reflejantes, que disminuye la iluminación natural cercana a la abertura y mejora la iluminación a mayor profundidad, debido al reflejo de luz hacia el cielorraso.

Holografías: Películas que producen un efecto de difracción, captando luz de gran altura angular y proyectándola al cielorraso. Se reducen así los niveles de iluminación cerca de la ventana y se mejora la iluminación en el interior de locales. Es una técnica experimental con posibles problemas de efecto "arco iris".

Vidrios prismáticos: Se forman con un perfil prismático para reducir la luz cerca de ventanas y mejorar la iluminación en el interior. Resultan más económicos que las holografías, aunque son translúcidos, sin buena visibilidad hacia el exterior.

Vidrios electrocrómicos y termocrómicos: Son vidrios experimentales, con superficies aplicadas que cambian sus características lumínicas según la temperatura o la aplicación de pequeñas corrientes eléctricas; por ejemplo, para reducir la transmisión de luz con temperaturas altas o cuando reciben sol directo.

9 USO DE SIMULACION NUMERICA PARA LA EVALUACION DE ILUMINACION

Varios programas de simulación numérica permiten verificar la cantidad y distribución de iluminación natural en interiores. Algunos indican el FLD con isóneas sobre una planta del local o curvas de FLD sobre cortes del local, indicando la disminución de luz, según la distancia de la ventana, *figura 15* y, si bien son relativamente sencillos para operar, es limitada la conformación geométrica de los espacios bajo análisis. Otros programas permiten visualizar la calidad de luz en interiores a través de imágenes con alto grado de realismo, aunque requieren gran capacidad de equipos, periodos largos de computación y alta complejidad de la entrada de datos, *figura 16*.

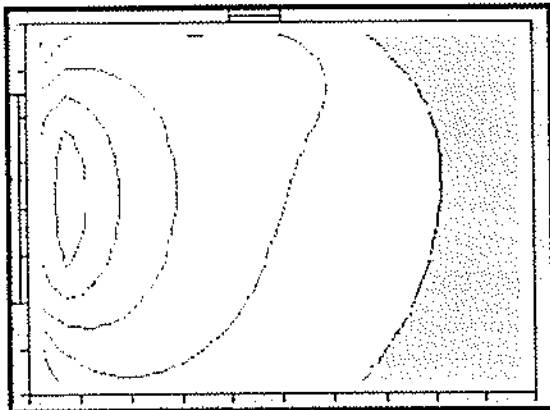


Figura 15
Planta de un local con 2 ventanas. Simulación numérica de la distribución de iluminación con isóneas de 1, 2, 5, 10 y 15% FLD.

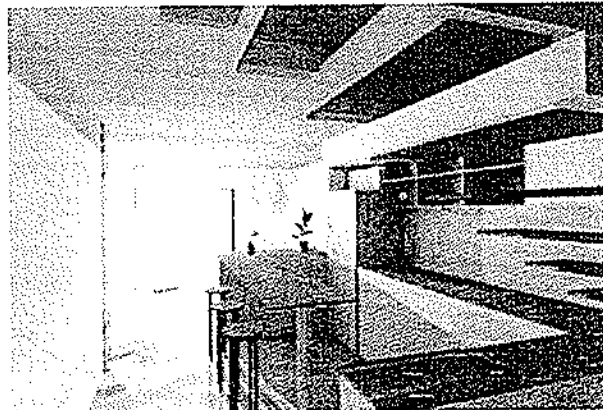


Figura 16
Simulación de iluminación natural en interiores con el programa Radiance.

10 MEDICIONES DE ILUMINACION NATURAL EN EDIFICIOS EXISTENTES

Se puede evaluar y medir la cantidad y calidad de iluminación natural con el fin de verificar resultados en edificios nuevos o evaluar condiciones en edificios existentes. Esta auditoría es especialmente valiosa para verificar los resultados en nuevos proyectos donde la provisión de iluminación natural es crítica, tales como galerías de arte, bibliotecas, salas de exposición, talleres o espacios donde se realizan tareas visuales finas. También se requieren mediciones para evaluar las condiciones en edificios con iluminación natural deficiente antes de implementar mejoras.

Un buen relevamiento de las condiciones de iluminación natural también permite evaluar los requerimientos de iluminación natural y demanda de energía en instalaciones de iluminación.

El siguiente procedimiento, basado en experiencias propias (Kralj et al, 2000 y Gonzalez Matterson et al, 2000) y de otras fuentes (Fontanoy, 1998 y Suecia, 1986) permiten reducir errores y obtener valores consistentes:

- 1 Seleccionar un día con cielo totalmente nublado para realizar las mediciones. Estas condiciones corresponden a los niveles mínimos y más críticos de iluminación natural y ofrece una distribución de iluminación del cielo similar a un cielo normalizado. Como guía, las condiciones son aptas cuando la iluminación que proviene de sectores del cielo nublado de baja altura es 50% de la iluminación de los sectores del cielo cercano al cenit.
- 2 Medir las condiciones exteriores sin obstáculos y los niveles de iluminancia interior en el mismo momento, con dos observadores, cada uno con un fotómetro o luxómetro; por ejemplo, realizando mediciones exteriores cada minuto y anotando la hora de cada medición interior. Conviene suspender las mediciones cuando la variación de la iluminancia exterior es importante.
- 3 Asegurarse que el sensor del fotómetro o luxómetro se encuentre totalmente horizontal con un nivel de burbuja, ya que una leve inclinación puede producir variaciones importantes en las mediciones con luz lateral.
- 4 Apagar las luces interiores para obtener solo iluminación natural, aunque se puede realizar una segunda serie de mediciones con luz artificial.
- 5 Los niveles de iluminación en el interior de un local pueden ser afectados por persianas, parasoles ajustables, cortinas translúcidas y otros elementos utilizados para controlar reflejos, sol directo, etc. Conviene realizar mediciones con y sin estos elementos.
- 6 Medir la iluminancia a una altura normalizada de 85 cm o a la altura del plano de trabajo, según las actividades previstas en el local. En el caso de galerías de arte, espacios de circulación u otros espacios donde el concepto del "plano de trabajo" no es aplicable, se mide la iluminancia en superficies verticales (*paredes*) y horizontales (*pisos*).
- 7 Conviene medir la iluminancia en la ventana con el componente horizontal, vertical desde arriba y vertical desde abajo. Estas mediciones indican la contribución de la luz reflejada del suelo exterior, generalmente 10 a 15%, aunque puede llegar a 25% con superficies exteriores muy reflectantes o a 5% con superficies muy oscuras con muchos obstáculos.
- 8 Al mismo tiempo, se puede medir la transmisión del vidrio en forma aproximada, obteniendo la relación entre el valor con el sensor vertical detrás del vidrio y el sensor vertical sin vidrio (*con ventana abierta*).
- 9 Con la planta del espacio en estudio, ubicar una grilla para lograr buena distribución espacial de los puntos de medición y facilitar comparaciones con la estimación de iluminación natural en los mismos puntos con programas de simulación. Estos puntos deben incluir la ubicación de escritorios, mesas de trabajo, etc. a fin de obtener niveles de iluminación en cada puesto de trabajo. Una serie de mediciones sobre una línea perpendicular a la ventana permite definir con mayor precisión de disminución de luz según la distancia del vidrio.

- 10 En puestos críticos de trabajo o superficies donde la calidad de iluminación natural es importante, será conveniente medir la iluminancia sobre superficie vertical con el sensor orientado hacia la ventana y en el sentido opuesto, adicionalmente a la iluminancia sobre superficie horizontal. Estos valores pueden indicar problemas de reflejos (*por ejemplo, en pantallas de video*), contrastes excesivos, o disminución de luz de baja altura debido a obstáculos.
- 11 Los resultados de las mediciones en cada punto pueden expresarse como Factor de Luz Diurna (FLD):

$$FLD = 100 \times \frac{\text{(Iluminancia interior sobre superficie horizontal)}}{\text{Iluminancia exterior sin obstáculos}}$$

- 12 El costo del equipamiento necesario para medir la intensidad de luz emitida por distintas fuentes (cd / m^2) dificulta su empleo en la mayoría de los relevamientos.

Adicionalmente a las mediciones de iluminancia, conviene obtener los siguientes datos dimensionales y luminicos de las superficies: aberturas, vidrios, marcos, accesorios, etc., según la **Tabla 10**.

La evaluación subjetiva de la cantidad y calidad de iluminación natural también es importante. La **Tabla 11** indica aspectos de la evaluación. Se puede utilizar una escala subjetiva de +3 a -3, indicada en la **Tabla 12**. Dado que las condiciones luminicas pueden variar según las condiciones exteriores del cielo y las horas del día, será muy útil realizar una encuesta de los usuarios del espacio bajo análisis.

Los luxómetros comunes pueden tener una deficiente respuesta al ángulo de coseno, o sea que su precisión disminuye cuando la luz sobre un sensor horizontal proviene de bajas alturas angulares. Esto no resulta problemático cuando se mide iluminación artificial con el sensor sobre el plano de trabajo y luminarias montadas sobre el cielorraso, ya que en este caso, el ángulo de incidencia no excede 45° , mientras el ángulo de incidencia con luz natural y ventanas verticales normalmente oscila entre 15° y 20° en el fondo de locales.

11 MEDICIONES DE ILUMINACION NATURAL EN MAQUETAS

El cielo artificial reproduce la distribución luminica del cielo nublado, sin las variaciones temporales del cielo real. Los ensayos de maquetas en un cielo artificial permiten medir y visualizar la cantidad de calidad de luz en interiores, adicionalmente a espacios semi-cubiertos y espacios urbanos.

Las maquetas deben tener una muy buena representación de la reflectancia de las superficies interiores y exteriores, con altura máxima de 30 cm, aunque para espacios con luz cenital, las maquetas pueden tener mayores dimensiones. La escala para espacios con alturas de hasta 3 m puede llegar a 1:10, y de 1:20 a 1:50 en espacios de mayores dimensiones. Asimismo, se puede utilizar la misma maqueta en un heliodón (*simulador del movimiento aparente del sol*) con el fin de estudiar la penetración de sol directo, según horas del día y estaciones del año.

Las mediciones se realizan en el interior de la maqueta con una grilla indicada en el piso y el sensor del fotómetro cuidadosamente nivelado a una altura equivalente al plano de trabajo. A fin de establecer el factor de luz diurna, las mediciones se llevan a cabo simultáneamente en interiores y exteriores.

12 ILUMINACION NATURAL Y ARTIFICIAL

Los proyectos de iluminación natural también tienen que contemplar el uso de luz artificial en los mismos espacios, durante las horas nocturnas, en momentos del día con escasa luz debido al cielo muy nublado y en los espacios interiores donde la iluminación natural es insuficiente. La "temperatura" de fuentes de iluminación artificial se puede comparar con la "temperatura" de luz natural según la hora del día y condiciones del cielo. Se pueden definir las características de luz, especialmente el color, según la temperatura de una fuente de radiación. En los proyectos de iluminación natural combinada con luz artificial también se debe contemplar la dirección de la luz y la combinación de dos fuentes de luz.

El desarrollo del diseño de la iluminación natural debe contemplar la combinación con la iluminación artificial, según los siguientes objetivos:

- disminuir el consumo de energía cuando la iluminación natural es suficiente,
- complementar la iluminación natural en situaciones donde ésta no logra cubrir las necesidades en todo el espacio,
- resolver la variación entre la cantidad y la distribución de luz de día (*con luz natural*) y de noche (*con luz artificial*).

En edificios de planta profunda, tales como oficinas abiertas, los espacios cercanos a las ventanas generalmente reciben luz natural adecuada, mientras los espacios interiores requieren luz artificial permanente. Es muy importante que el diseño de los circuitos de luces contemple la zonificación de las mismas a fin de permitir mejor manejo y ahorro del uso de luminarias en sectores donde la iluminación natural es suficiente, normalmente hasta una distancia de 5 – 6 metros de la ventana, aunque con vidrios de baja transmitancia de luz visible, la distancia puede oscilar solamente entre 3 – 4 metros.

Además, en zonas intermedias, hasta 8 m de la ventana, donde la iluminación natural sobre superficie horizontal no es adecuada, el uso de iluminación artificial suplementaria permite lograr la impresión de un espacio iluminado principalmente con luz natural aunque resulte lo contrario en la realidad. Esta iluminación mixta se conoce con las siglas IAPS, Iluminación Artificial Permanente Suplementaria, o según las siglas en inglés, PSALI, Permanent Supplementary Artificial Lighting.

En el caso de utilizar iluminación natural en zonas cercanas a la ventana, se pueden adoptar sistemas con sensores para evitar el uso de iluminación artificial innecesaria. El sistema de control debe responder a los siguientes requisitos a fin de evitar molestias a los usuarios.

- Incorporar un "timer" para evitar encendido y apagado repetitivo cuando las condiciones exteriores son muy variables.
- Utilizar un sistema de "dimmers" que disminuye la variación de los niveles de iluminación interior cuando las luminarias se encienden o se apagan, teniendo en cuenta que los cambios bruscos provocan molestias a los usuarios.
- La iluminación suplementaria artificial debe tener un rendimiento de color de alta temperatura, similar a la calidad y color de la luz natural.

En ciertos casos, tales como salas de exposición en museos, es importante lograr no solamente un excelente rendimiento de colores de la iluminación artificial, sino también una dirección de la luz artificial similar a la iluminación natural. En otros casos, los efectos de la iluminación artificial pueden producir efectos contrastantes con la iluminación natural, especialmente en la iluminación de fachadas.

Tabla 6. Coeficiente de reflexión interna para locales de vivienda

Factor de Reflexión del piso	Proporción: Abertura/ Sup. de Piso	Factor de Reflexión de Pared			
		20%	40%	60%	80%
10%	1:50 (2%)	-	-	0,1	0,1
	1:20 (5%)	-	0,1	0,2	0,3
	1:14 (7%)	-	0,1	0,2	0,5
	1:10 (10%)	0,1	0,2	0,3	0,6
	Ejemplos:				
	Alfombra marrón,	1:6,7 (15%)	0,1	0,3	0,4
	Baldosa PVC color	1:5 (20%)	0,1	0,3	0,6
	marrón oscuro,	1:4 (25%)	0,2	0,4	0,7
	Cerámica roja	1:3,3 (30%)	0,2	0,5	0,9
	Madera oscura.	1:2,5 (40%)	0,2	0,6	1,0
20%		1:2,2 (45%)	0,3	0,6	1,1
		1:2 (50%)	0,3	0,6	1,1
			0,4	0,8	1,5
					2,8
	1:50 (2%)	-	0,1	0,1	0,2
	1:20 (5%)	-	0,1	0,2	0,4
	1:14 (7%)	0,1	0,2	0,3	0,5
	1:10 (10%)	0,1	0,2	0,5	0,8
	Ejemplos:				
	Madera media,	1:6,7 (15%)	0,1	0,3	0,6
40%		1:5 (20%)	0,2	0,4	0,8
	Baldosas corcho	1:4 (25%)	0,3	0,5	1,0
	PVC marrón claro	1:3,3 (30%)	0,3	0,6	1,2
	Cerámica rojo claro	1:2,9 (35%)	0,4	0,7	1,4
		1:2,5 (40%)	0,4	0,8	1,6
		1:2,2 (45%)	0,5	0,9	1,8
		1:2 (50%)	0,5	1,0	1,9
					3,1
					3,3
	1:50 (2%)	-	0,1	0,2	0,2
60%		1:20 (5%)	0,1	0,1	0,3
		1:14 (7%)	0,1	0,2	0,5
		1:10 (10%)	0,2	0,3	0,6
	Ejemplos:				
	Cemento (limpio)	1:6,7 (15%)	0,2	0,5	0,9
	Baldosa PVC color	1:5 (20%)	0,3	0,6	1,2
	crema o gris claro	1:4 (25%)	0,4	0,8	1,4
		1:3,3 (30%)	0,5	0,9	1,7
		1:2,9 (35%)	0,5	1,0	1,9
		1:2,5 (40%)	0,6	1,2	2,2
80%		1:2,2 (45%)	0,7	1,3	2,4
		1:2 (50%)	0,8	1,5	2,6
					4,1
					4,4

Fuente: Tabla 12.3 en Housing, climate and comfort, J. M. Evans, Architectural Press, Londres, 1980.

Tabla 7. Factores de corrección para coeficientes de reflexión interna.

	Factor de Reflexión de Pared			
	20%	40%	60%	80%
I. Tamaño de la habitación				
3,5 m x 3,5 m aprox	1,0	1,0	1,0	1,0
7,0 m x 7,0 m aprox	1,7	1,4	1,25	1,1
10 m x 10 m aprox	2,4	1,7	1,25	1,0

2. Factor de reflexión de cielorraso:

80% Pintura blanca sobre yeso liso	1,1	1,1	1,1	1,1
70% Pintura blanca sobre yeso texturado	1,0	1,0	1,0	1,0
60% Pintura crema o yeso solamente	0,9	0,9	0,9	0,9
50% Pintura gris sobre yeso, chapa de fibrocemento	0,8	0,8	0,8	0,8
40% Cemento blanco o claro y liso	0,7	0,7	0,7	0,7

3. Variación del coeficiente de reflexión interna:

Mínimo	1,0	1,0	1,0	1,0
Promedio	1,8	1,4	1,3	1,3

4. Obstrucción externa: ángulo desde el horizonte en el antepecho:

0°	1,14	1,16	1,18	1,22
10°	1,11	1,14	1,15	1,17
20°	1,0	1,0	1,0	1,0
30°	0,9	0,85	0,8	0,75
40°	0,8	0,77	0,72	0,65
50°	0,65	0,63	0,57	0,50

5. Factor de mantenimiento (superficies interiores):

Superficies nuevas, mantenimiento bueno	1,0	1,0	1,0	1,0
Superficies viejas, mantenimiento regular	0,9	0,9	0,9	0,9

Fuente: Tabla 12.3, en Housing, climate and comfort, J. M. Evans, Architectural Press, Londres, 1980.

Factor de reflexión
de paredes, piso y
cielorrasos.

Revestimientos	
Madera, clara	45 %
Pino	40 %
Madera, oscura	20 %
Caoba	10 %
Azulejos blancos (brillante)	80 %
Acero inoxidable	35 %

Material	Coeficiente
Ladrillo visto	30 %
Revoque, claro	40 %
Revoque oscuro u hormigón	20 %
Revoque medio, liso	30 %
Revoque rugoso	20 %
Pasto seco, invierno	11 %
Pasto verde, invierno	3 %
Tierra seca	9 %
Solado de hormigón transitable	18 %
Baldosas de hormigón, piedra lavada	14 %
Asfalto, calle vehicular	12 - 13 %

Pinturas	Clara	Media	Oscura
Blanca, esmalte		85 %	
A la cal		85 %	
Blanca		80 %	
Marfil		65 %	
Crema		60 %	
Amarilla	70 %	50 %	30 %
Beige	65 %	45 %	25 %
Rosa	55 %	45 %	30 %
Naranja	60 %	40 %	25 %
Gris	55 %	35 %	25 %
Verde	60 %	30 %	15 %
Azul	60 %	25 %	10 %
Marrón	55 %	25 %	10 %
Rojo	25 %	20 %	10 %
Púrpura	40 %	20 %	10 %
Aluminio, pintura		55 %	
Negro		5 %	

Fuentes: Tabla 12.2 en Housing, climate and comfort, J. M. Evans, Architectural Press, Londres, 1980, y Tabla 1, en Uso de modelos en escala, Evans et al. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 2, Salta, 1999.

Referencia: Edificio o proyecto

Habitación

Condiciones

Tabla 9 Planilla de
Cálculo: Iluminación
natural para interiores

Nº	Descripción	Puntos de medición			
		1	2	3	4
Componente Celeste (CC)					
1	Planta: ángulo a la izquierda				
2	Planta: ángulo a la derecha				
3	Corte: ángulo hasta el antepecho				
4	Corte: ángulo hasta el límite superior				
5	Número de puntos				
6	Componente Celeste: $5 \times 0.05\%$				
Componente de Reflexión Externa (CRE)					
7	Planta: ángulo a la izquierda				
8	Planta: ángulo a la derecha				
9	Corte: ángulo hasta el antepecho				
10	Corte: ángulo hasta el límite superior				
11	Número de puntos				
12	Reflexión promedio de la obstrucción				
13	Componente de reflexión externa: $(11) \times (12) \times 0.05\%$				
Componente de Reflexión Interna (CRI)					
14	Factor de reflexión del piso				
15	Proporción abertura / superficie piso				
16	Factor de reflexión de la pared				
17	CRI inicial (<i>Habitación residencial</i>)				
18	Tamaño de la habitación				
19	Factor de corrección				
20	Reflexión de cielorraso				
21	Factor de corrección				
22	Factor de corrección (<i>CRI promedio-si corresponde</i>)				
23	Obstrucción externa				
24	Factor de corrección				
25	Factor de corrección mantenimiento interior				
26	CRI final: $(17) \times (19) \times (21) \times (22) \times (24) \times (25)$				
Factor de Luz Diurna (FLD)					
27	Factor de corrección vidrio				
28	Factor de corrección marcos				
29	Factor de corrección mantenimiento				
30	Factor de luz diurna: $FLD = (CC + CRE + CRI) \times 27 \times 28 \times 29$				

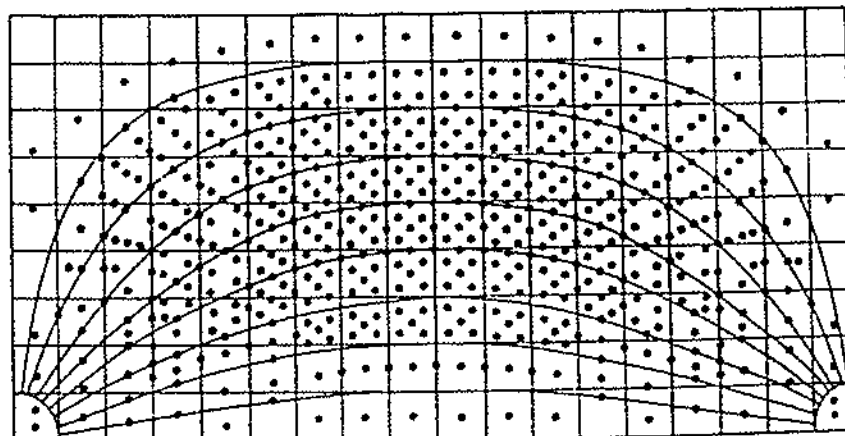


Figura 17
Gráfico de la distribución del
Componente Directo (CD),
donde cada punto representa
el 0,05% del Factor de Luz
Diurna (FLD).

Tabla 10 Evaluación de iluminación natural en espacios existentes

Local N° *	Dimensiones	Altura piso-techo	m
		Ancho pared-pared	m
		Profundidad ventana - pared	m
	Piso	Reflectividad media	%
	Cielorraso	Reflectividad media	%
	Paredes	Reflectividad media	%
	Elementos	Reflectividad divisiones, etc	%
Actividades	Superficies	Altura de plano de trabajo	M
		Inclinación	°
		Distancias de la ventana	M
Abertura N°	Ubicación	Pared o cielorraso	
	Número	Ventanas del mismo tipo	
	Inclinación	Vertical, inclinado (con ángulo)	°
	Orientación	Acimut, respecto a norte	°
	Dimensiones	Altura	M
		Ancho	M
		Altura antepecho	M
Vidrio I	N° de hojas	Simple, doble vidriado sellado	
	Transmitancia	Luz visible	%
Marco I	Espesor	Marco vertical	M
		Marco horizontal	M
		Número de travesaños vertical	
		Número de travesaños horizontales	
		Espesor medio de travesaños	M
		% de la superficie de abertura	%
		Reflectancia o color arista int.	%
	Paños de abrir	Tipo corrediza, guillotina, abrir..	
Otros I	Mosquitero	Transmitancia medida o est.	%
	Rejas	Transmitancia medida o est.	%
	Cortinas	Transmitancia medida o est.	%
	Parasoles	Transmitancia medida o est.	%
	Alero	Extensión horizontal	M
Exterior	Obstáculos	Altura angular media	°
	Solado	Reflectividad media	%

* En caso de distintos tener tipos de aventanamientos, se debe usar una planilla para cada local o cada ventana.

Tabla 11 Evaluación de la iluminación natural en espacios existentes.

Aspecto a evaluar	Valor
Impresión general de la luminosidad del local (espacio interior)	
Impresión general de la luminosidad del espacio exterior	
Impresión general del grado de contraste (visuales hacia el exterior)	
Impresión general del confort visual en los puestos de trabajo, escritorio, pupitre, etc.	
Presencia de reflejos molestos sobre superficies de trabajo en el interior del local	
Presencia de reflejos molestos sobre pantallas de video, vidrios de cuadros, pizarrones blancos, etc.	
Impresión general de la calidad de limpieza y mantenimiento de las superficies interiores del local	
Impresión general, calidad de limpieza y mantenimiento de vidrios	
Mantenimiento de los elementos móviles de las ventanas: cortinas, parasoles móviles, postigos, etc.	

Tabla 12 Escala de evaluación

Muy luminoso / excesiva contraste / excesivo brillo	+ 3
Luminoso / contraste / brillo	+ 2
Algo luminoso / limitado contraste / limitado brillo	+ 1
Neutral	0
Algo oscuro	- 1
Oscuro	- 2
Muy oscuro	- 3

CONSULTA BIBLIOGRAFICA y REFERENCIAS

- Baker, N. et al. Daylighting in Architecture, A European Reference Book, EUR 15006 EN, James and James Scientific Publishers, Londres, 1993.
- Baker, N. Editor, Daylight Design Guidelines, James and James Scientific Publishers, London, 1996
- Baroldi, G. y Evans, J. M., Iluminación a través de Patios, Ensayos en el Cielo Artificial, pp 5-15-5-16, Comunicaciones del XXIII Congreso de ASADES, Resistencia, Chaco, INENCO, Salta, 2000
- Bell, J. and W. Burt, Designing Buildings for Daylight, BRE Publications, Watford, 1995
- BRS, Estimating Daylight in Buildings, Building Research Station Digest 42, HMSO, Londres, 1963
- Burton, David and Pye, Brian (editores), Glass in Buildings, Butterworth Architecture, London, 1993
- Commission Internationale de l'Eclairage, Daylight, Publication CIE N° 16 (E-3.2), Paris, 1970
- Evans, Martin, Climate and House Design, Architectural Press, London, 1960
- Evans, J. M. y de Schiller, S., Diseño Bioambiental y Arquitectura Solar, Ediciones Previa, EUDEBA, Buenos Aires, 1991
- Evans, J. M., Proyecto de Diseño Bioambiental: Guías y Pautas, SEDUV, Buenos Aires, 1980
- Evans, J. M. et al., Iluminación en maquetas y espacios con iluminación natural, recomendaciones para su medición, pp 5-37-5-40, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol 1, No. 2, 1997.
- Evans, J. M., Bogato, M., Egüa, S. y Baroldi, G., Uso de Modelos en el Cielo Artificial, Características de reflexión de los Acabados Superficiales interiores y exteriores, pp8-165-8-168, Avances en Energías Renovables, Vol 3, No. 1, 1999
- Fontoyent, Marc, Daylight Performance of Buildings, James and James, Londres, 1999
- González Matterson, M. L., Kralj, M. E., y Evans, J. M., Evaluación de las condiciones de iluminación natural con luz cenital: Mediciones en edificios de la Ciudad de Buenos Aires, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol 4, No. 1, 2000.
- Gonzalo, G. et al. Diseño y construcción de un cielo artificial para el Instituto de Acondicionamiento Ambiental, pp 5-17-5-18, Comunicaciones del XXIII Congreso de ASADES, Resistencia, Chaco, INENCO, Salta, 2000
- Hopkins, R. G., Petherbridge, P. and Longmore, J., Daylighting, Hienemann, London, 1966.
- International Energy Agency, Source Book for Energy Auditors, Energy Conservation in buildings and community systems programme, Annex XI: Energy Auditing, D11:1987, Swedish Council for Building Research, Stockholm, 1987
- Koenigsberger, O. H., Ingersoll, Mayhew, Szokolay, Manual of Tropical Housing and Building, Part 1, Climate Design, Longmans, Londres, 1971, Capítulo 5: Light and Daylighting, Appendix 9. También publicada como Koenigsberger, O. H., Ingersoll, Mayhew, Szokolay, Viviendas o Edificios en Zonas Calidas y Tropicales, Editorial Parainfo, Barcelona, 1977.
- Kralj, M. E., González Matterson, M. L., y Evans, J. M., Mediciones y simulación de iluminación natural en edificios con patios de la Ciudad de Buenos Aires, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, pp 5-41-5-46, Vol 4, No. 1, 2000.
- Lynes, J. A., Principles of natural lighting, Elsevier, 1968.
- Michel, C., Roeker, J. L., Scartezani, Performance of a scanning sky simulator, Lighting Research Technology 27(4) 197-207 (1995).
- Moore, F. Concepts and practice of architectural daylight, Van Nostrand Reinhold, New York, 1985
- Norma IRAM AADL J 20-01, Instituto Argentino de Racionalización de Materiales- Asociación Argentina de Lumnotecnia, Lumnotecnia: Definiciones, Buenos Aires, 1969.
- Norma IRAM AADL J 20-02, IRAM-AADL, Instituto Argentino de Racionalización de Materiales- Asociación Argentina de Lumnotecnia: Iluminación natural de edificios, Condiciones generales y requisitos especiales, Julio 1969, Buenos Aires, 1969.
- Norma IRAM AADL J 20-03, IRAM-AADL, Instituto Argentino de Racionalización de Materiales- Asociación Argentina de Lumnotecnia: Iluminación natural de edificios, 1969, Buenos Aires, 1969.
- Norma IRAM AADL J 20-04, IRAM-AADL, Instituto Argentino de Racionalización de Materiales- Asociación Argentina de Lumnotecnia: Iluminación natural: escuelas, Buenos Aires, 1972.
- Norma IRAM AADL J 20-05, IRAM-AADL, Instituto Argentino de Racionalización de Materiales- Asociación Argentina de Lumnotecnia: Iluminación natural de edificios, Buenos Aires, 1969.
- Norma IRAM AADL J 20-17, IRAM-AADL, Instituto Argentino de Racionalización de Materiales- Asociación Argentina de Lumnotecnia: Iluminación Natural y Artificial en Industrias, Buenos Aires 1976
- Ouahram, Djamel, Nur, Daylight and thermal effects of windows in desert housing, Lund University of technology, Lund University, Sweden, 1993.
- Sawali, Carlos, U., Iluminación natural, Librería y Editorial Altuna, Buenos Aires, 1993
- Tregenza, Peter, & Loe, David, The design of lighting, E & FN Spon, Routledge, London, 1996.
- Mayoras, Andrés, Daylighting, PLEA Notes, University of Queensland Department of Architecture, Queensland, 1998.

El presente trabajo incluye resultados de proyectos de investigación financiados por la Universidad de Buenos Aires y la Agencia Nacional de promoción de Investigación en Ciencia y Tecnología, con la participación de las Arqutas. S de Schiller, M. L. González Matterson, M. E. Kralj y G. Baroldi.



EL PROYECTO

7

CAPITULO

INTRODUCCION

También podríamos decir: "El diseño luminotécnico". O el diseño de sistemas de iluminación, o podríamos hablar de la consideración necesaria de los factores que nos permiten recrear el espacio a partir de una iluminación artificial. Todos estos conceptos engloban y tienen dentro de sí la idea del "PROYECTO".

PROYECTO

Designio. Pensamiento de hacer algo / Plan para la ejecución de una obra.
(Diccionario del Español Moderno-Martin Alonso).

La acción de proyectar es exclusivamente un proceso intelectual, subjetivo, al final del cual materializamos su resultado en una propuesta técnica, verificable a través de sistemas de cálculo y de ensayos. No obstante, como es prácticamente difícil poder establecer desde un punto de vista objetivo y numérico parámetros que satisfagan las expectativas de todos los usuarios posibles, es necesario aplicar durante el proceso del proyecto una metodología que nos permita verificar el máximo posible de las distintas variables, para incorporar finalmente nuestro concepto estético y el lenguaje que lo expresa.

Asimismo sabemos que para cada problema planteado existen múltiples propuestas posibles que dan solución al tema. Ahora bien, podemos trasladar estos conceptos al campo del diseño de instalaciones de alumbrado y descubriremos una gran similitud en la metodología a emplear. Es decir que el proceso de proyecto en arquitectura es aplicable al diseño de alumbrado.

La iluminación comparte con la arquitectura la cualidad de tener la capacidad de protagonizar un hecho artístico combinando arte y ciencia.

Como tal no es posible poner límites al campo de su desarrollo ni contenerla arbitrariamente con fórmulas artificiosas.

La naturaleza, apariencia visual y sensación espacial cambia cuando desaparece la luz diurna, por lo que todo tendrá una apariencia diferente cuando se ilumine con luz artificial, y diferentes serán las experiencias espaciales. Es el objeto básico del buen proyecto de iluminación conservar las características funcionales a la vez que se crea un nuevo entorno.

Como el Arquitecto es y será en todo momento el responsable final de los resultados, y con quien trabajaremos a lo largo de la obra, es apropiado que utilicemos una metodología similar, máxime cuando emplearemos los mismos datos en nuestra hipótesis.

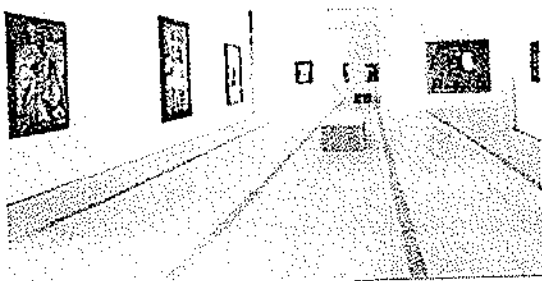
El proceso del proyecto de un acto intelectual de desarrollo lógico que contiene determinada metodología con puntos de control y verificación que podemos definir.

A priori debemos dar por sentado que el diseñador de iluminación necesariamente conoce y comprende los mecanismos físicos biológicos de la visión, proceso mediante el cual percibimos el entorno. Este proceso de desarrollo del proyecto implicará necesariamente distintas etapas.

Un análisis inicial del objeto de su proyecto: EL SITIO, por lo cual deberá establecer una estrecha relación con los profesionales implicados en el proyecto lo más temprano posible, tipología, textura, color y técnicas constructivas de los componentes del sitio son hipótesis básicas para comenzar el proyecto.

• Conocimiento de las actividades a desarrollar en el sitio. Sus características y el equipamiento.

Definición del usuario. Características de su actividad. Paquetes de funciones.



El diseñador de iluminación no es el autor de la obra sino que su tarea debe interpretar el concepto espacial del arquitecto para lograr con el proyecto de iluminación alcanzar ese objetivo.

ANTECEDENTES

Ya hemos visto que la luz es radiación electromagnética. La luz visible es una muy pequeña fracción del espectro de radiación electromagnética que produce una sensación de brillo y color a través del complejo sistema visual del ojo.

La luz significa energía, vida e información. La luz diurna provee las cualidades que sirven de base para optimizar la luz artificial. La visión, -constituida por forma, contraste, brillo y color- es nuestra interpretación de impulsos neurológicos transmitidos al cerebro por el ojo cuando es estimulado por diferentes cantidades de energía radiante visible. Por lo que en lo que llamamos trabajo visual se acompañan y influyen reciprocamente tres ciencias:

Física, Fisiología y Psicología.

Mucho antes que el hombre desarrollara su capacidad de razonar, sintió las limitaciones que le imponía la ausencia de luz. Estas limitaciones aún hoy se traducen en una sensación de temor. No es solo la imposibilidad de realizar tarea alguna sino la falta de capacidad que implica la ausencia de un sentido primordial.

Para quienes han crecido dentro del confort que significa la energía eléctrica, el traspaso desde condiciones límites de visión a condiciones normales es solo un movimiento condicionado de nuestro brazo. De esta forma comenzamos a resolver una parte de nuestro problema. Problema que podemos denominar: "TRABAJO VISUAL"

Todo trabajo requiere luz, pero la cantidad, calidad y difusión de la luz es el aspecto que determina cuan bien se puede desarrollar una tarea y cuan cómodo se siente el entorno. También puede actuar conjuntamente con la calidad formal y cromática del entorno.

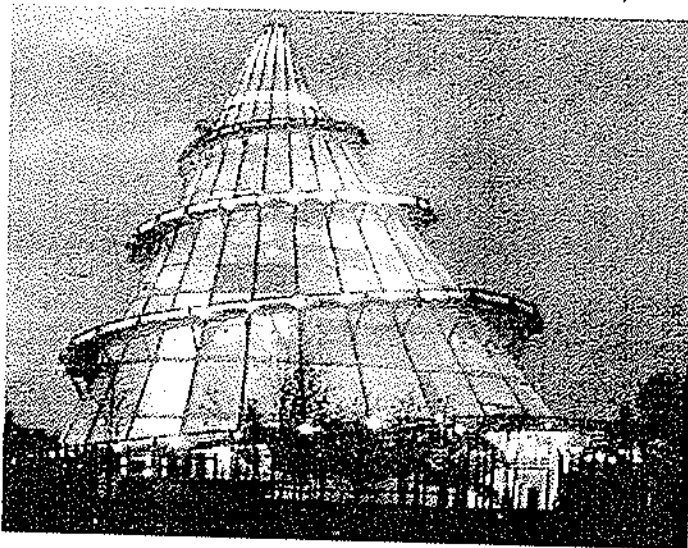
El ojo humano puede "ver" 7,000,000 de colores. Algunos de estos colores pueden causar molestias a nuestros ojos, Otros colores o relaciones de colores pueden ser irritantes, causar dolores de cabeza o arruinar la visión.

Otros colores y sus combinaciones son suaves, tranquilizantes. Consecuentemente el uso apropiado del color puede maximizar el confort, mejorar la eficiencia, minimizar la fatiga visual y relajar el cuerpo; o viceversa.

El color es un concepto resultante de la interacción de una fuente de luz, un objeto, el ojo y el cerebro.

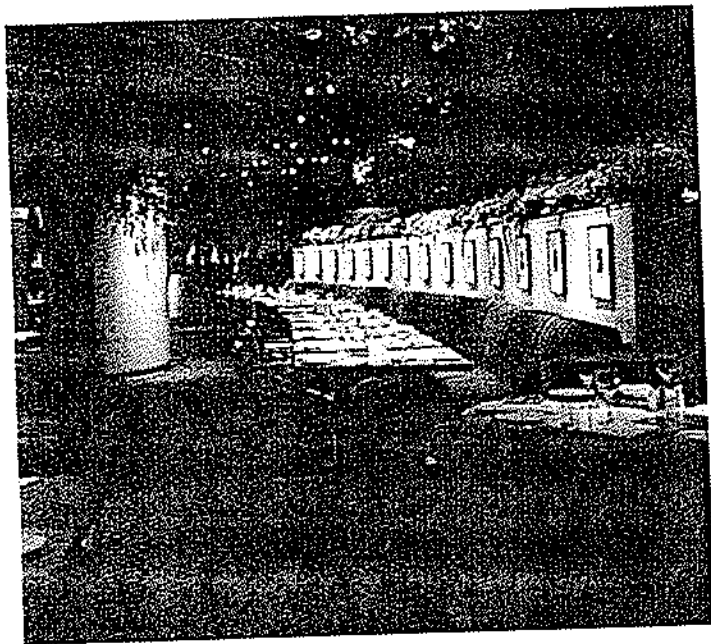
Es todo este proceso, acompañado por el desplazamiento en el tiempo, que permite percibir y comprender en su totalidad el espacio que nos rodea, el que hace necesario la consideración general del tratamiento del entorno cuando desarrollamos un proyecto, y no solamente el plano de trabajo o la calzada.

Se necesita tiempo para ver y comprender: Se necesita tiempo para permitir que el mecanismo automático de ajuste del ojo se adecue a las condiciones permanentemente cambiantes del trabajo visual.



El proceso de diseño

No depende del tamaño de los objetos que los veamos mejor, sino de la nitidez de su contorno y el contraste sobre su fondo.



Cuanto más nítido y definido, y mejor iluminado se encuentra, menor será el tiempo empleado.

El nivel de iluminación como valor absoluto no necesariamente mejora las condiciones en que se desarrolla un trabajo visual. Si las condiciones donde se desarrolla una tarea visual tienen valores importantes de diferencia de nivel y brillo, y están en el campo visual de quien desempeña la tarea, el trabajo de acomodación del ojo se traducirá en fatiga visual, pérdida de confort y malestar físico.

Deberá siempre considerarse con extremo cuidado y coordinar no solo los niveles de iluminación en el denominado plano de trabajo, sino que el sistema a adoptar tomará en cuenta el entorno físico y aconsejará respecto a texturas y colores.

Principalmente un buen nivel de iluminación no es un valor absoluto aplicable a una tarea visual en todos los

casos que esta se presente, ni depende en su obtención de una determinada cantidad de lúmenes emitidos por una fuente, sino que un buen nivel de iluminación es la complementación de aspectos objetivos y subjetivos originados en el ser humano.

Para concretar un buen diseño, si bien es importante el sistema técnico a emplear, (luminaria-fuente), este dependerá del correcto análisis de las condiciones ambientales del entorno donde una determinada actividad se desarrolla, de la distribución del sistema elegido, del tratamiento estético del focal, de la forma en que la luz natural ha incidido durante el día, y, principalmente de la propuesta arquitectónica que define un objetivo que debemos acompañar con el proyecto luminotécnico, adecuando y complementando las percepciones del sujeto-usuario.



Toda obra de arquitectura, y de acuerdo a modernas teorías asimilamos la calle al espacio urbano, es una propuesta formal funcional que da respuesta a un programa y a una relación integrada por el conjunto: *sitio - usuario - actividad - equipamiento*.

Independientemente de las relaciones mencionadas en el párrafo anterior, en la formulación del proyecto se deben contemplar los siguientes elementos que permitirán arribar a una propuesta mas adecuada.

1 Relaciones espaciales

Mientras el espacio exterior es visualmente dominante durante el día, al caer la noche la iluminación transforma los espacios interiores como principal punto de interés.

Durante el día nuestro limite visual será el cielo y su variante configuración, durante la noche con nuestro proyecto de iluminación recrearemos un espacio totalmente nuevo.

2 Perspectivas

Durante el día las imágenes de todo el entorno ocupan nuestro campo visual en perspectiva. Es natural y estamos así habituados.

La luz artificial puede ser empleada para reconstruir o modificar esta imagen. El empleo adecuado y los acentos precisos asegurarán una buena calidad de la visión y el confort resultante.

3 Entorno

El sistema de iluminación debe permitir la percepción inmediata del entorno. En determinados casos puede enfatizarlo o simplemente hacer sentir su presencia, pero nunca debe aislar al usuario.

4. Cualidades Subjetivas

La creación de un entorno a través de la iluminación da la sensación de seguridad y goce, así como en determinadas circunstancias crear mediante la luz efectos escenográficos apoyan el elemento decorativo.



Con todos estos elementos en la mano, el análisis del sitio, el usuario, el equipamiento; teniendo en cuenta algunas de las consideraciones arriba mencionadas, se puede comenzar con la tarea de definir sector por sector el sistema de iluminación, seleccionar las fuentes de luz apropiadas, las luminarias, los soportes. Utilizaremos los métodos de calculo para ir verificando paso a paso nuestro proyecto. En algún caso el cumplimiento de valores de iluminancia, uniformidad y deslumbramiento primará sobre los aspectos meramente decorativos, en algún caso tendrán igual importancia y en otros casos nuestra capacidad de recrear el espacio con la luz será total.

Es un desafío a la imaginación creativa que contará con el apoyo de la técnica, pero exigirá al proyectista un cuidadoso conocimiento de las herramientas con que trabajará y los aspectos psíquicos y fisiológicos como resultado de la luz y el color.

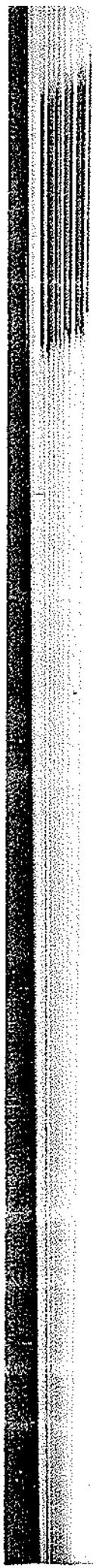
Existe un punto de equilibrio entre nuestra libertad de proyectar y el presupuesto previsto por el cliente, que forma parte integrante de las consideraciones a tomar en cuenta.

Analisis previo al diseño
TABLA de referencias

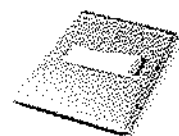


SITIO	Ubicación relativa respecto de los centros de interés Orientación Circulaciones — Limites del sitio Asoleamiento — Microclima Proporciones — Area Perfil — Calidad del entorno
ACTIVIDAD	Enumeración Tipo de actividades Distribución de las actividades Actividades afines Momento de máxima actividad Características
USUARIO	Enumeración Número de usuarios Permanencia Momentos de máxima afluencia Características
EQUIPAMIENTO	Enunciación Medidas y Cantidades Distribución

Es necesario además poseer un dibujo en escala con plantas y cortes y los detalles constructivos. Si es posible, obtener fotografías de los recorridos o dibujos en perspectiva del resultado final propuesto. ■

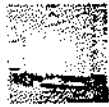


**Cuando el diseño es
todo un concepto.**



Línea
Siglo XXII

*Con esta línea queremos ofrecerle
nuevas posibilidades estéticas y
funcionales con gran espíritu innovador.
Siglo XXII es nuestro más nuevo diseño,
y está listo para formar parte de su
entorno cotidiano.*



Cambre

CAMBRE S.A.
Productos Eléctricos y
Electrónicos

Atención al cliente:
(011) 4755 5748
info@cambre.com.ar

Visítenos,
www.cambre.com.ar



Lafonier's

Humberto E. 1728 - (1824). Lanús. Buenos Aires
Argentina - Tel: (5411) 4262-2181/2229/3562
E-mail: lafoniers@infovia.com.ar
<http://www.iluminacion.net/lafoniers>

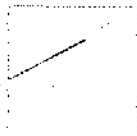
Sistemas Modulares Fluorescentes



Linea BOXER
1 y 2 x 18 W
1 y 2 x 36 W
1 y 2 x 58 W
1 y 2 x 36 W Dulux
1 x 105 W

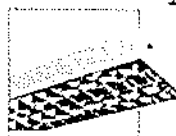


Linea PRIMA
1-2-3 x 18 W
1-2-3 x 36 W
1-2-3 x 58 W
1-2 x 36 W Dulux
2 x 36 Dulux Lineal
4 x 36 Dulux Lineal



Linea VEDETTE
1-2-3 x 18 W
1-2-3 x 36 W
1-2-3 x 58 W
1-2 x 105 W
1-2 x 36 Dulux
2-4 x 36 Dulux Lineal

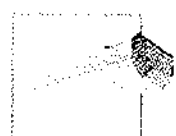
Iluminación Interior



Louvers doble parabólico
Tipo plafón y de embutir
2 x 18 W
2 x 36 W
3 x 36 W Dulux



Embutidos para Dulux
Con Louver radial o con
vidrio esmerilado
2 x 18 W Dulux D
2 x 26 W Dulux O



Plafón con difusor
acrílico prismático
1-2 x 18 W
1-2 x 36 W

KIT Equipo de Emergencia



Para lámparas
fluorescentes
de 13 - 18 - 36 y 58 W.
Baterías Nicd 3.6 V. 4 A/h.
Origen: ITALIA



ARTELUM S.A.

"La opción Justa en iluminación"

Av. Elcano 4019 - C1427CHE - Buenos Aires - Argentina
Telefax: 4551-1551/0834 e-mail: artelum@artelum.com.ar
web site: www.artelum.com.ar

Proyectores p/Interior



PROYECTOR
HQI 70 W / 150 W.



PROYECTOR
Para embutir HQI, fijo y móvil
70 W / 150 W

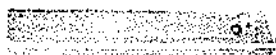


SPOT
Para embutir
Halospot 111
50 W / 12 V.



PROYECTOR
Para embutir, fijo.
HQI 70 W / HQI 150 W.

Iluminación Exterior



Artelacto hermético IP67
1-2 x 18 W
1-2 x 36 W
1-2 x 58 W



PROYECTOR
para intemperie
HQI 250/400W



SPOT
para intemperie
PAR 20 W
PAR 30 W
PAR 38 W

ILUMINACION INTERIOR

ILUMINACION DE OFICINAS E INSTITUCIONES

8

CAPITULO

Elaborado por:

Ing. Oscar A. Loccero

Colaboradores:

Ing. Jorge R. Loccero

Arq. Patricia Molaioli

Sra. Barbara Del Fabro

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

No

INTRODUCCION

Trataremos aquí de dar algunas pautas generales, necesarias al momento de proyectar una iluminación para oficina, dado que los trabajos en éstas son los que mayor esfuerzo visual requiere. Cada caso tendrá condiciones o requerimientos específicos, ya que al igual que otras actividades el trabajo en una oficina ha sufrido transformaciones funcionales, tecnológicas y organizativas, como es el uso de pantallas de video en los puestos de trabajo. Esto ha demandado más confort y eficiencia en la iluminación, por ello pondremos principal interés en estos aspectos.

GENERALIDADES

En general la iluminación de oficinas la trataremos como un caso particular de iluminación interior, y en ella tendrá que considerarse que hay ciertos items que deberán ser analizados en forma más exhaustiva.

Mencionaremos aquí algunos conceptos y recomendaciones básicas para la iluminación de oficinas, considerando que con éstas pocas pautas podremos lograr un buen proyecto. Permitiendo de ésta manera cumplir con un gran número de factores que se deben tener en cuenta cuando encaramos el proyecto de iluminación de una oficina.

En general cuando vamos a iluminar un local pensamos en cuantos artefactos nos hacen falta para cumplir con un nivel determinado, y por ello nos vemos tentados a hacer inmediatamente un cálculo, sin contemplar algunos factores que pueden ser determinantes en el diseño de una iluminación confortable. Bueno, pues desde ahora pondremos en claro cual es nuestro objetivo, ya que dependemos en gran parte de nuestra visión. Cualquier interferencia o perturbación a nuestra visión normal traerá aparejado algún inconveniente como dolor de cabeza, fatiga visual, sensación de discomfort, etc.

En principio veremos los sistemas con que podremos contar para lograr la iluminación necesaria y luego veremos que requisitos deberán cumplir cada uno.

Para iluminar una oficina podremos considerar dos sistemas de iluminación.

I SISTEMAS PRIMARIOS DE ILUMINACION

Destinados a asegurar los niveles de iluminación recomendados sobre los planos de trabajo, para lograr la correcta visión del usuario.

- **Iluminación general:** Destinada a establecer la visibilidad básica necesaria para desempeñar las tareas diarias. *figura 1*

- **Iluminación localizada:** Destinada a establecer la iluminación necesaria sólo en el área visual del plano de trabajo. *figura 2*

- **Iluminación general + iluminación localizada:** Destinada a establecer una iluminación de nivel general y reforzar sobre los planos de trabajo para lograr los niveles requeridos. *figura 3*

A su vez estos sistemas pueden realizarse con artefactos de iluminación tipo directa, semi-directa, indirecta, reflectores, etc.

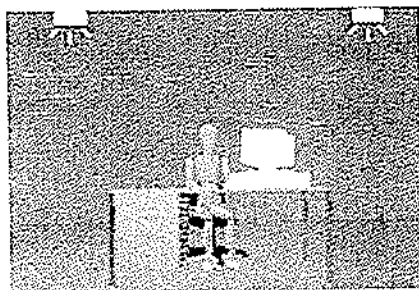


Figura 1

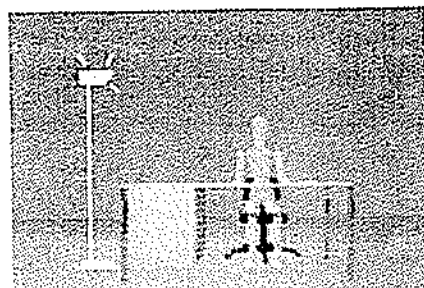


Figura 2

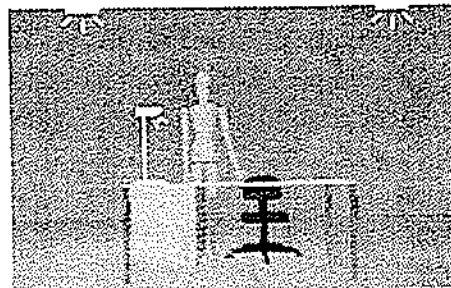


Figura 3

2 SISTEMAS SECUNDARIOS DE ILUMINACION

Destinados a lograr efectos decorativos, está combinado generalmente con los sistemas primarios de iluminación.

- **Iluminación de acentuación:** Se utiliza, como su nombre lo indica, para acentuar o dar mas importancia al objeto iluminado. Sirve para realizar destaques, jerarquizar, etc.
- **Iluminación decorativa:** Su utilización es generalmente para decorar la arquitectura del local, ya sea con los diferentes tonos o intensidades, destacar ornamentaciones, etc.
- **Iluminación de ambientación:** Está destinada a acompañar la idea del local, se debe leer la iluminación como una ayuda para crear una atmósfera adecuada a nuestras necesidades.
- **Iluminación incorporada a la arquitectura:** Deberá acompañar el diseño arquitectónico, lo cual muchas veces nos limita la selección de luminarias.

En general en ambos sistemas encontraremos que éstos a su vez pueden separarse en **SIMPLES** (un solo tipo de lámpara) o **MIXTOS** (cuando se combinan varios tipos de lámparas y luminarias).

Como ya habíamos mencionado, nos encontramos aquí frente a un caso particular de iluminación de interiores, y habrá que tener en cuenta dos aspectos fundamentales de la iluminación de oficinas. Por un lado, los **Factores de Diseño** y así fijar condiciones o requerimientos necesarios. Por el otro las **Pautas de Proyecto**, que son características de este tipo de iluminación y fijan sus necesidades. Comenzaremos mencionando.

Factores de Diseño

- **Función uso del espacio:** Aquí consideraremos como está utilizado el espacio disponible para esta actividad, *horarios, tipo de tareas, etc.* Esto puede dar lugar para analizar los sistemas de encendido automático, ya sea a mediante relojes, sensores, detectores de presencia, etc. Actualmente se pueden encontrar sistemas que combinan no sólo el encendido de las luminarias, sino que a su vez regulan el flujo de la lámpara en función de la cantidad de luz natural que hay en el ambiente.
- **Detalles y dimensiones del espacio:** Esto se refiere no solo a las dimensiones geométricas sino también a los detalles físicos, como ser *ventanas, colores, texturas, etc.* Es importante también tener en cuenta estos factores ya que por ejemplo colores oscuros o paredes alfombradas necesitarán seguramente mayor cantidad de luminarias.
- **Mobiliario y Disposición:** Tendremos aquí que evaluar el tipo de mobiliario utilizado, la disposición y tamaño del mismo, los planos de trabajo críticos, etc. Seguramente que armarios o estanterías muy altas provocarán sombras no deseadas, también la ubicación de las luminarias sobre los planos de trabajos mejorarán el nivel de iluminación en los mismos y esto a su vez puede generar una distribución de luminarias determinada según la posición de los escritorios.
- **Estilo y Decoración:** En este aspecto es muy importante tener en cuenta la decoración del local, ya que muchas veces ésta nos limita la selección de ciertas luminarias fijándonos así una Pauta de proyecto. Por ejemplo si la oficina esta decorada con muebles de estilo Luis XV difícilmente se nos ocurra utilizar un tubo fluorescente, más bien pensaríamos en una araña o similar.
- **Presupuesto:** Este aspecto más de una vez pasa a ser un factor determinante en nuestro proyecto y que muchas veces termina por limitarlo y hasta hacerlo impracticable.

Por este motivo es que se recomienda un detallado análisis técnico-económico para poder justificar adecuadamente nuestro punto de vista. En realidad la solución técnica más conveniente no siempre es la más económica, es por ello que deberemos de agudizar no sólo el ingenio sino también nuestros conocimientos tratando de lograr la mejor respuesta técnica a un precio razonable.

Si bien todos los factores de diseño son importantes, tal como habíamos anticipado nos dedicaremos principalmente al confort visual del usuario.

Como habíamos mencionado anteriormente una vez seleccionados los **Sistemas de Iluminación** y considerados los **Factores de Diseño**, nos dedicaremos a fijar las **Pautas de Proyecto** según lo requieran las Normas y nuestras necesidades como proyectistas.

Pautas de Proyecto

• **Seguridad y salud:** Estas son la principales pautas que deberemos tener en cuenta. En cuanto a la salud para no provocar fatiga visual ni daños permanentes en la visión de los usuarios y seguridad para lograr por ejemplo: la visión necesaria para poder circular sin riesgos en el local, observar sin perturbaciones en los planos de trabajo, etc.

• **Nivel de iluminación:** Fijaremos el nivel de manera de lograr la iluminación más adecuada, ya que este factor influye directamente en la salud visual, así como aspectos psicológicos, estados de ánimo, etc.

1. El valor necesario de iluminación recomendado generalmente lo seleccionaremos según lo indicado por la norma **IRAM-AADL J2006** o las recomendaciones al respecto. Las últimas recomendaciones de la Asociación Argentina de Luminotecnia dan valores entre los 300 a 700 Lux según cada caso. Se podrán tener en cuenta algunas exigencias especiales como:

■ **Contraste:** es un factor importante ya que con contrastes bajos deberemos aumentar nuestro nivel de iluminación recomendado.

■ **Aspectos fisiológicos:** Edad de los usuarios, características particulares, etc. Si el nivel de edad promedio es muy elevado, seguramente requerirá de condiciones más exigentes.

■ **Aspectos arquitectónicos:** Los efectos de destaque generalmente se realizan con lámparas o proyectores que tienen un haz dirigido, esto a su vez emite una cantidad de luz dispersa que genera este reflector, esta luz dispersa contribuye al nivel general

• **Confort visual:** Este será uno de los condicionantes principales en el diseño de iluminación para oficinas. El confort visual está dado como una evaluación subjetiva de los niveles de luminancia e iluminancia, es importante reconocer que el grado de satisfacción visual en términos de confort y agrado creado por la iluminación es una consideración adicional en el diseño de todo tipo de ambientes. Todos los aspectos que aquí mencionamos influyen favorable o desfavorablemente sobre el confort visual.

Tabla 1 (extracto Norma IRAM-AADL J 20-06)

Tipo de edificio, local y tarea visual	Valor mínimo de servicio de iluminación (lux)
Oficinas	
• Halls para el público	200
• Cartografía, proyecto, dibujos detallados	1000
• Contaduría, tabulaciones, teneduría de libros, operaciones bursátiles, lectura de reproducciones, bosquejos rápidos.	500
• Trabajo general de oficina, lectura de buenas reproducciones, lectura, transcripción de escritura a mano en papel y lápiz ordinario, archivo, distribución de correspondencia, etc.	500
• Trabajos especiales de oficina, sistema de computación de datos	750
• Salas de conferencias	300
• Circulaciones	200

· **Tipo de lámpara:** Para seleccionar el tipo de lámpara más conveniente veremos algunos conceptos (en general entre incandescente y de descarga):

1. **Eficiencia:** La eficiencia de una fuente luminosa se mide en función de su rendimiento flujo luminoso/potencia consumida lm/w , de esta manera optaremos por la lámpara con la eficiencia más conveniente.
2. **Vida útil:** La vida útil de una lámpara en general se la determina como aquella en la cual el 80% de las lámparas funcionan con el 80% del flujo inicial. Lámparas con larga vida útil garantizan un menor mantenimiento. Este item puede tornarse decisivo cuando hablamos del mantenimiento.
3. **Temperatura de color:** Es el tono de la luz que corresponde a la fuente de luz patrón a una temperatura determinada. Cuando seleccionamos un tono de luz no hay ninguna solución "correcta", más bien existen puntos de vista individual, como por ejemplo decoración, gusto personal y cultura, los que son a menudo factores decisivos de elección.
4. **Reproducción cromática:** Es la capacidad que tiene la fuente de reproducir los colores del objeto iluminado, también llamada rendimiento del color R_a . Este puede ser determinante en ciertos tipos de oficinas en las que la reproducción de colores es primordial como lo pueden ser oficinas de diseño, oficinas de compra de telas, pinturas, etc.

· **Tipo de Luminaria :** (Ver Anexo 1, en pág. 154) Aquí también hay varios factores que influirán sobre la elección de una luminaria o características que la misma debe poseer.

1. **Louver o difusor:** Este componente trata de evitar encandilamiento directo por visión de la lámpara. Según el tipo de difusor evita el deslumbramiento en una o en ambas direcciones. (louver persiana, louver doble parabólico, difusores acrílicos, etc.).
2. **Distribución de luminarias:** Generalmente haremos una distribución según nuestras necesidades o los requerimientos de nuestro comitente. Pero podremos mencionar como casos más comunes, por ejemplo:

· **Nivel de deslumbramiento:** Si en nuestro campo de visión normal encontramos un foco luminoso éste puede provocar deslumbramiento. El mismo podrá ser **directo**, figura 4, cuando es el resultado de una luminancia proveniente de una ventana o luminaria. Puede provocar discomfort y fatiga visual como consecuencia del continuo ajuste y reajuste de las pupilas a dos niveles de iluminación muy diferentes. O bien **reflejado**, figura 5 y 6 que es la luminancia reflejada por superficies brillantes que contribuyen a un esfuerzo visual y fatiga. Una imagen brillante que dificulta la lectura de los caracteres en dicha pantalla.

Las relaciones de luminancia admisibles según la norma **IRAM-AADI J 20-04** se establecen por ejemplo:

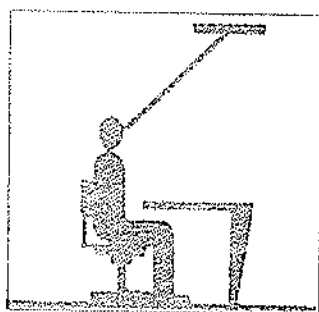


Figura 4
Encandilamiento directo

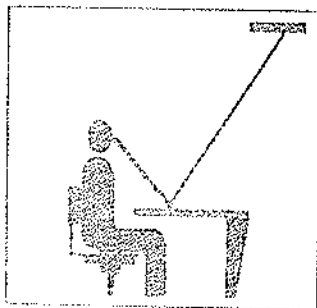


Figura 5
Encandilamiento reflejado

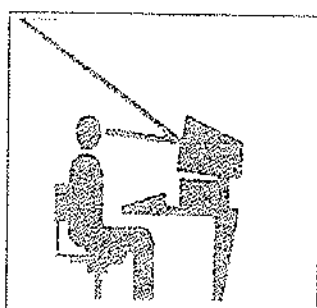


Figura 6
Encandilamiento en la pantalla

- Entre el objeto sobre el cual se trabaja y su fondo inmediato **3 a 1**
- Entre el objeto sobre el cual se trabaja y la superficie mas clara u oscura del campo visual **10 a 1**
- Entre las ventanas o luminarias y la superficie adyacentes **20 a 1**
- Entre la tarea visual y cualquier punto del local **40 a 1**.

También cabe hacer referencia a la relación de luminancias entre la iluminación general y localizada que establece la norma **IRAM-AADL J 20-06, tabla II** estos valores oscilan entre relaciones de 1:2 a 1:8 según las luminancias.

Tal como habíamos mencionado dedicaremos un párrafo especial a los puestos de trabajo con VDT (*video display terminals*), ya que los monitores por su convexidad se comportan como una especie de "ojo de pez" es decir, que en ella se refleja una cantidad de objetos obviamente mayor que si la misma fuera plana. Por otra parte los elementos que veremos "reflejados" en la pantalla son aquellos que son más luminosos o están más iluminados que la pantalla, **figura 7.**

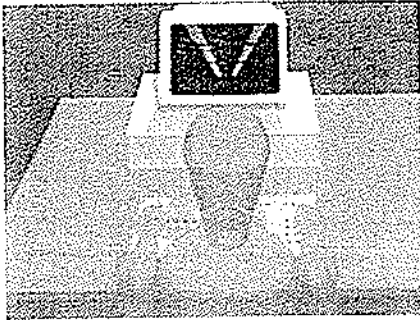


Figura 7
Reflejo producido por las luminarias en la pantalla.

Considerando esto veremos que gran parte del cielorraso a espaldas del operador se verá reflejado en la pantalla según cuanto "mayor sea su luminancia" (o brillo) con respecto a la pantalla. En una pantalla completamente negra cualquier pequeña luminancia se verá reflejada. De esto se desprende que si queremos que una luminaria no se refleje en la pantalla, la curva de distribución luminosa de la misma deberá ser tan cerrada que su aplicación resulta sumamente antieconómica por la gran cantidad de luminarias necesarias. Para lograr una solución intermedia, se ha llegado a la conclusión de que una luminancia de 200 cd/m^2 reflejada en el monitor será la máxima admisible, **figura 8.**

- Distribución de luminancia en el área de la tarea
- Rangos de luminancia para superficies de salas
- Prevención de deslumbrado limitando la luminancia de luminarias y ventanas.

Figura 8
Un rango de valores de luminancia recomendados para áreas de trabajo

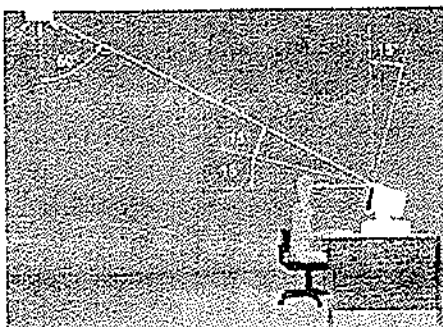
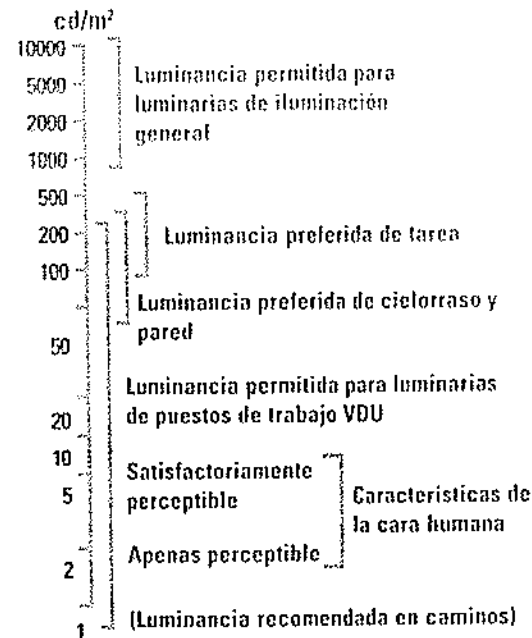


Figura 9.a.

Esta luminancia está relacionada con el ángulo de incidencia con respecto a la vertical que pasa por el centro de la luminaria y que incide en la pantalla del monitor. En este sentido las normas establecen tres categorías de exigencia a saber:

- ✓ **Categoría I:** Oficinas con gran densidad de PCs con uso intensivo.
- ✓ **Categoría II:** Oficinas con predominio de PCs pero con uso semi-intensivo.
- ✓ **Categoría III:** Lugares con pocas PCs de uso esporádico.

Según la norma DIN fija los ángulos de 50°, 60° y 70° para las categorías I, II y III respectivamente, **figura 9.a.**

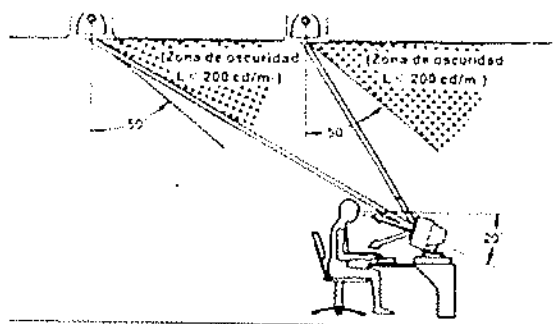


Figura 9.b.

Desde ya que las luminarias que mejor se adaptan a éstos requerimientos serán aquellas que "dirijan o apantallen" los rayos de luz orientándolos hacia el ángulo deseado. Los louves más eficientes en éste sentido son los doble parabólico. Estos dirigen los rayos de luz predominantemente hacia los ángulos entre los 25° y 35° por debajo de la luminaria.

• Dirección de la iluminación y efecto de sombras :

Cuando existe una diferencia significativa entre la iluminancia del objeto y su entorno inmediato y que pueda contribuir al desconfort visual. Por ejemplo éstas son las sombras producidas por una fuente puntual sobre la cabeza o la mano del que escribe, por lo tanto vamos a considerar que tipo de lámpara usaremos, ya que éstas podrán producir sombras fuertes (lámparas incandescentes o fuentes puntuales) *figura 10* o débiles (lámparas fluorescentes) *figura 11* y consideraremos según corresponda los siguientes aspectos.



Figura 10



Figura 11

1. Ángulo de apertura de las lámparas
2. Dirección según la posición de las luminarias
3. Sombras proyectadas por el tipo de lámparas

Hemos dado hasta aquí una rápida referencia para la iluminación de oficinas, para cerrar el tema cabe enunciar una pequeña clasificación de los diferentes tipos de oficinas, sus requerimientos y algunas características de las mismas. En éstos deberemos aplicar a cada uno los factores de diseño y pautas de proyecto que los mismos requieran.



Figura 12

Iluminaciones generales que permiten la rápida adaptación visual del público que entra al local



Figura 13

Tipos de oficinas

• **Oficinas de usos generales:** Suelen tener grandes superficies lo que implica iluminación general preferentemente y evitar los deslumbramientos, ya que por las dimensiones seguramente tendremos varias luminarias dentro del plano de visión.

• Con atención al público el movimiento dentro del local es mas intenso. Aquí encontraremos mostradores y escritorios en los que concurren: el usuario que permanece en el local y el público que entra y sale del mismo. *figura 12 y 13.*



Figura 14

En el momento del proyecto se desconocía la disposición del mobiliario, esto obliga a trabajar con una iluminación general para todo el local.



Figura 15

Este box admitió la colocación de luminarias con fluorescentes compactas embutidas, que pueden a su vez ser encendidas parcialmente.

- De trabajo interno, en éste caso el usuario predominantemente permanece en el local por periodos prolongados. *figura 14.*
- **Oficinas Privadas o box:** Son de dimensiones pequeñas y por lo general se ilumina sobre los planos de trabajo. Esto permite lograr iluminaciones con gran variedad de luminarias ya que las pequeñas dimensiones del local permiten que la iluminación sea resuelta fácilmente. *figura 15.*
- **Oficinas de Gerencia:** Su tamaño es variable pero aquí cobra mayor importancia la

iluminación decorativa o de destaque, ya que generalmente cuentan con variados objetos decorativos. Esto nos lleva a la utilización de fuentes de tipo puntual y con haz dirigido como complemento de la iluminación general, para lograr que dichos objetos se destaquen.

Oficinas de Dibujo

Convencional: aquí cobra importancia la tarea visual que en estos caso es muy severa, por ello requerirá de niveles de iluminación considerables.

Puesto de trabajo en CAD: Aquí se debe considerar la pantalla como una pequeña fuente de luz, por ello es que deberá cuidarse el contraste con el campo visual más próximo.

• **Oficinas Administrativas:** Las tareas visuales son exigentes por lo tanto hay que cuidar el nivel general y las acentuaciones. Aquí toman especial importancia las relaciones de luminancias que



Figura 16

La presencia de pantallas nos obliga generalmente a la utilización de louvers doble parabólicos.

habíamos mencionado anteriormente. *figura 16*

• **Oficinas técnicas:** En estos casos suele tener mayor importancia la reproducción de colores y con niveles de iluminación general elevado. La tarea visual es particularmente exigente, ya que hay que leer planos, informes técnicos, comparar muestras de colores, etc. Por ello es conveniente utilizar buenos niveles de iluminación y lámparas con reproducción cromática adecuada.

Con estos pocos conceptos podemos encarar la iluminación de oficinas con un criterio más amplio para lograr el mejor nivel de iluminación, con la lámpara más adecuada y el sistema más eficiente.

ANEXO I

Analisis de luminarias

Antes de comenzar a analizar una luminaria refrescaremos algunos conceptos referidos al tema: Deberemos considerar que si bien es recomendable la utilización de luz natural en ciertas horas no queda más remedio que recurrir a la luz artificial. Cuando esto sucede deberemos evaluar varios factores de decisión.

Principalmente la luz es emitida por una fuente luminosa, la que a su vez está alojada en una caja o contenedor llamado luminaria, también deberemos considerar que algunas fuentes luminosas requieren de un equipo auxiliar adecuado para su correcto funcionamiento.

Todo esto hace que a la hora de elegir, debamos conocer un poco más los componentes necesarios para una correcta iluminación. Ya que en general una luminaria además de ser estéticamente agradable una luminaria deberá:

- Proporcionar la sujeción adecuada para su uso.
- Proporcionar conexión eléctrica a las lámparas que lleva adentro.
- Proteger físicamente las lámparas.
- Controlar y distribuir la luz emitida por las lámparas
- Ser eficiente en su funcionamiento.

Tipo de montaje: Aquí cabe aclarar que en muchas ocasiones la forma de montaje es el condicionante principal del tipo de luminaria, a su vez ésta suele ser un condicionante externo ya que depende del proyecto de arquitectura y deberá ser considerada antes de iniciar cualquier diseño de iluminación, entre los tipos de montajes tendremos:

■ **EMBUTIDOS:** Esta forma de sujeción depende principalmente del tipo o marca de cielorraso en, general pueden ser de diversas características:

1. Junta abierta o Placa desmontable
2. Junta tomada o con metal desplegado y yeso
3. Vainillas metálicas.
4. Etc.

Cada uno de esto requiere de diferentes accesorios, marcos especiales, uñas, etc. para la correcta sujeción de la luminaria.

■ **AMURADOS:** En este tipo de sujeción en general sólo se requiere que la luminaria posea las perforaciones necesarias y los accesorios correspondientes.

■ **SUSPENDIDOS:** Aquí no solo necesita las perforaciones sino que además de todo un sistema de suspensión, cable, brocas, correderas, etc. Que será necesario contemplar en el momento de la adquisición.

Una vez identificado el tipo de montaje decidiremos el modelo de luminaria que se adapte a nuestras necesidades. Por lo general el tipo de luminaria que seleccionaremos será aquella que cumpla las condiciones técnicas, económicas y de diseño más aceptables. Para ello tendremos en cuenta algunos componentes fundamentales.

Materiales eléctricos: Son los componentes necesarios para el correcto funcionamiento de la lámpara, aquí se incluirán zócalos, portalámparas, equipos auxiliares, cables, borneras, etc. La calidad de los mismos será determinante para la vida útil de la lámpara.

A su vez tienen que garantizar seguridad desde el punto de vista eléctrico, como por ejemplo: contar con la puesta a tierra, borneras para conexión, etc.

Protección Física de la lámpara: El tipo de protección provisto por el cuerpo de la luminaria podrá ser:

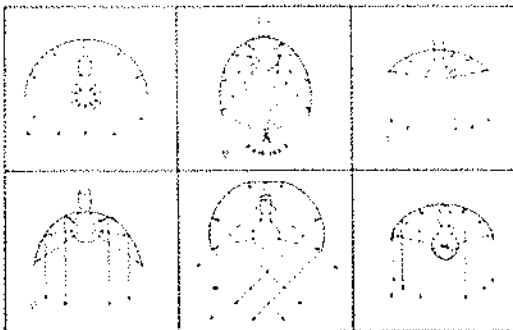
- 1 Sin protección
- 2 Protección contra el ingreso de cuerpos extraños o humedad.
- 3 Protección contra daños físicos, accidentales o no.

Control de la luz: Los sistemas ópticos que controlan la luz pueden variar desde aquellos que hacen difusa la luz de la lámpara, hasta aquellos que enfocan la luz en un haz que se emite en una dirección bien definida.

En cada uno de los sistemas, el funcionamiento del sistema óptico depende de uno o varios de los siguientes elementos para el control de la luz.

- 1 Reflectores
- 2 Lentes y refractores
- 3 Difusores
- 4 Dispositivos de Apantallamiento
- 5 Filtros

Figura 17
Reflectores cilindricos y parabólicos, estos permiten dirigir el flujo en determinadas direcciones, según la necesidad.



Reflectores: En el diseño de los sistemas ópticos de luminarias se utilizan tres tipos principales de reflexión: reflexión especular, dispersa y difusa. La primera se utiliza cuando se necesita una forma de distribución de luz precisa, como los proyectores, spots y luminarias para vía pública. Los reflectores dispersos se utilizan en los casos en que se requiere un grado moderado de control óptico para producir una forma específica de haz. En tanto los reflectores difusos no pueden proporcionar control agudo de los haces, por lo que se utilizan para dirigir la luz en su totalidad hacia áreas amplias de trabajo. **figura 17**

Lentes y Refractores: Con ellos se puede obtener un control direccional adecuado de la salida de la luz emitida por la lámpara.

Difusores: Se utilizan para esparcir la luz emitida por las lámparas en todas las direcciones, y reducir de este modo el brillo de la luminaria para todos los ángulos desde donde se mire.

Dispositivos de Pantalla: Una técnica utilizada para controlar o dirigir la luz de una luminaria, o para ocultar las lámparas de la vista, es la pantalla. La función de pantalla puede ser una característica inherente al diseño de la luminaria, o puede lograrse por medio de dispositivos de apantallamiento que se agregan a la misma.

Muchas luminarias están diseñadas de forma tal que las lámparas no sean visibles desde las direcciones en las que podrían causar deslumbramiento. Una forma de lograrlo es hacer que el reflector o alguna parte del cuerpo de la luminaria proporcione el grado necesario de apantallamiento. **figuras 18 y 19.**

Rejillas (louvers) adosable: Cuando el apantallamiento del cuerpo principal de la luminaria no es adecuado, se emplea un dispositivo adosable, llamado rejilla (louvers), para lograr el apantallamiento. **figura 20.**

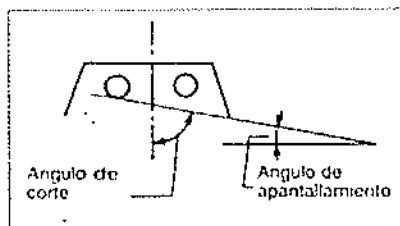


Figura 18
Apantallamiento proporcionado por el cuerpo de la luminaria

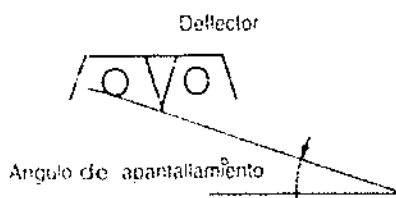
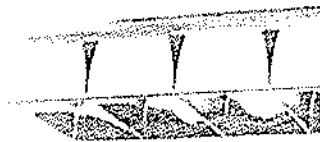


Figura 19
Apantallamiento proporcionado por un deflector adicional



Angulo de apantallamiento 45°

Figura 20
Louver doble parabólico generalmente permiten apantallamiento menores a 60° para evitar o lograr iluminancias menores a 200 cd/m².

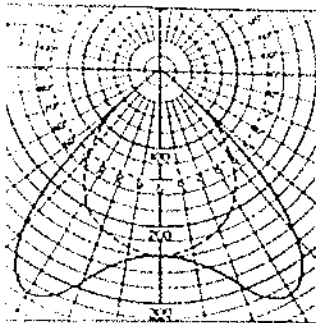
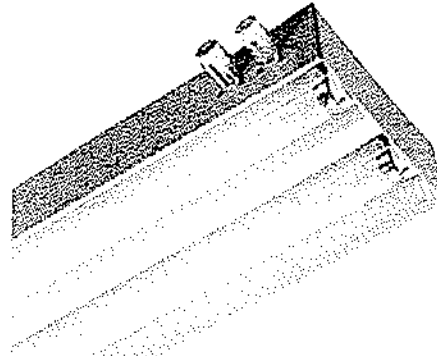
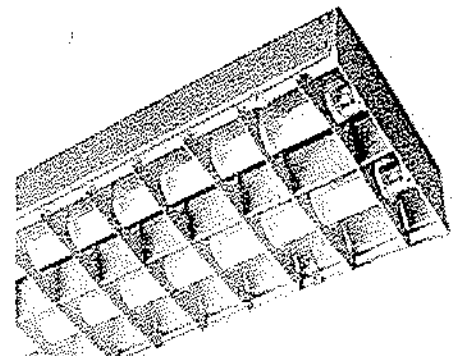


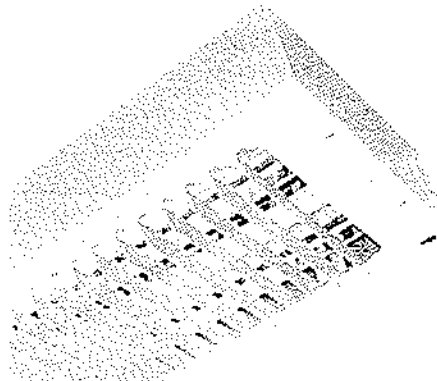
Figura 25
La distribución luminosa además de la eficiencia es un dato determinante en la selección de luminarias.



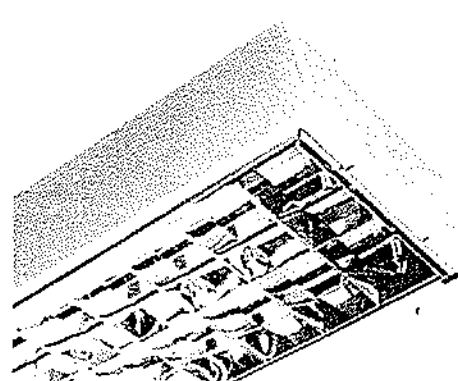
21 - Artefacto tubo a la vista



22 - Artefacto con louver a casetón



23 - Artefacto con louver persiana



24 - Artefacto con louver doble parabólico

Eficiencia: En las luminarias la misma se expresa en términos de índice de salida de luz (*light output ratio*). Se lo define como la proporción de salida de luz de la luminaria con respecto a la suma de las salidas individuales de luz de las lámparas cuando éstas son usadas fuera de la luminaria **figura 25.** ■

**CONSULTA
BIBLIOGRAFICA**

- Lic. Graciela L. Tonello - Ing. José Sandoval Recomendaciones para iluminación de oficinas A.A.D.L. (1997)
Office Lighting RP-1 "IESNA" (Illuminating Engineering Society of North America) (1993)
Carlos Lázio Mito y Verdades Sobre la iluminación de oficinas con computadoras Revista Luminotecnia N° 48 (1995)
Good Lighting for Offices and Office Buildings Fordergemeinschaft Gutes Licht (1992)
Manual de iluminación "Philips" (1995)
Lo que ud. debe saber sobre la iluminación de oficinas "OSRAM" (1993)
Manual de lámparas OSRAM (98/99)

**Para muchos es importante
una buena iluminación...**



**Para nosotros es fundamental...
nos especializamos en eso.**

Integrante de:
RedElec

Proyectos y Diseños.
Iluminación industrial,
vial, comercial, deportiva,
para el hogar.
Iluminación por fibra
óptica e inteligente.
Equipos de iluminación
de emergencia,
automatismos y PCL.
Energía solar y eólica.
Comunicación y redes de
datos.
Asesoramiento técnico
personalizado por
profesionales.
Envíos a todo el país.

Ciardi Hnos
MATERIALES
ELECTRICOS

Su contacto positivo...

Casa Central: Av. Luño 7146 - Tel/fax: (0223) 499-1600 líneas rotativas - www.ciardi.com.ar
E-mail: iluminacion@ciardi.com.ar ciardi@ciardi.com.ar - (7600) Mar del Plata, Argentina.

Luminarias para Alumbrado Público

Industrial y
Decorativo

SP 65
Armadura tipo bulbocilíndrica
para lámpara de hasta
200W. Tülpia de vidrio
pintado o policarbonato
de color rojo.



Gral. Guido 2261/63
(1752) Lomas del Mirador
Buenos Aires - Argentina
Telefax: 4657-7070 4657-0198
e-mail: spilumin@rcc.com.ar

SP 56C
Construida
en chapa de
hierro repujada.
De colgar, lleva
un gancho de
fundición de
aluminio.

SP 55B
Luminaria
construida
en fundición
de aluminio.

con un
pesante para
entrada de
cable de 42 mm.
de diametro.

**SP 48
125W**

SP 48
Artefactos de Alumbrado Público
con vidrio refractario y prensado
al borosilicato.



ILUMINACION INTERIOR

ILUMINACION INDUSTRIAL

9

CAPITULO

Autor:
Ing. Hugo Allier

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

INTRODUCCION

El alumbrado de industrias abarca un amplio rango de espacios interiores y tareas: desde pequeños talleres hasta grandes naves industriales y desde trabajos finos de precisión, generalmente realizados en los primeros, hasta tareas pesadas asociadas a las últimas. El diseño del lugar de trabajo puede hacer fácil o difícil la tarea de iluminarlo; la presencia de máquinas de formas complejas o de cañerías, puentes grúa u otros elementos por encima de los puestos de trabajo pueden complicar la tarea. La tarea en sí también puede ser simple o tener requerimientos especiales, como ser eliminar brillos en algunas zonas o por el contrario crearlos para distinguir ciertos detalles o revelar imperfecciones en la terminación de una superficie.

Un diseño del alumbrado realizado cuidadosamente, incluyendo en el estudio el análisis económico de diferentes sistemas de iluminación aplicables, podrá ayudar a la optimización de la producción, a minimizar las posibilidades de accidentes y a ahorrar en costos operativos, ayudando a la vez a promover el confort y el bienestar de los trabajadores.

PROTECCION Y SEGURIDAD

Se debe tener precaución en que las características de las luminarias cumplan las exigencias de cada caso. En áreas húmedas las luminarias deben tener apropiada protección contra la humedad, mientras que en las polvorientas la deben tener contra el polvo, especialmente cuando puede transformarse en explosivo. Esta protección se define mediante la clasificación IP.

En áreas donde las luminarias o lámparas están al alcance de la mano de los operarios tiene importancia especial la seguridad eléctrica, mientras que en áreas con vapores o gases explosivos o líquidos volátiles las luminarias deben ser apropiadamente seguras.

REQUERIMIENTOS DEL ENTORNO

Cuando se trabaja en áreas de temperaturas muy bajas, como ser cámaras frigoríficas, se debe tener especial cuidado en la selección de la lámpara, de modo de asegurar tanto el encendido como la correcta emisión del flujo luminoso. Este es un problema crítico para las lámparas fluorescentes, no así en las incandescentes ni en las de descarga en gas. En las últimas se debe tener cierta precaución con ignitores electrónicos, que suelen tener un rango de temperaturas de trabajo restringido.

En áreas en las cuales la temperatura en las inmediaciones de las luminarias es alta, como en las fundiciones y acerías, es importante asegurarse de que la temperatura del balasto en funcionamiento no exceda la admisible.

NIVELES DE ILUMINANCIA

La mayoría de las recomendaciones y normas sobre alumbrado dedican bastante espacio a la iluminancia requerida en espacios interiores de trabajo, en especial industrial. En la Argentina los valores de iluminancia media en servicio que como mínimo debe establecerse en áreas de trabajo es la especificada en el decreto 351/79, reglamentario de la Ley 19587 de Higiene y Seguridad en el Trabajo. Las tablas indicadas figuran al final de este capítulo. También hay una tabla especificada en la Norma IRAM-AADL J 20 06 sobre "Iluminancias en interiores de trabajo", también indicada al final de este capítulo.

Puede verse que existen dos tipos de tabla, una con definiciones generales de la tarea visual y otra con una descripción de tareas más específica. Cuando la tarea específica no figura en la segunda tabla se debe buscar una tarea cuyo esfuerzo visual sea equivalente, considerando

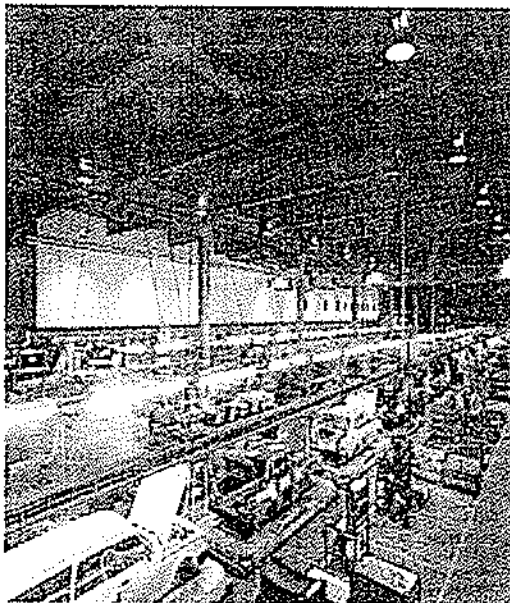
como esfuerzos visuales equivalentes a aquellos que requieren igual grado de distinción de detalles e iguales tiempos de concentración visual.

Las tablas generales, tanto de la Norma como del Decreto, permiten definir también cualquier tarea visual y la iluminancia asociada.

Es interesante notar que en la tabla del Decreto se fijan valores únicos, que son los mínimos a establecer, mientras que la Norma da valores máximo y mínimo para cada tipo de tarea. De optarse por esta tabla debe tenerse presente que la elección del valor máximo o el mínimo estará condicionado por otros factores, como ser cuánto tiempo el personal trabaja con esa luz artificial, cuál es la edad promedio de los trabajadores y si existe o no aporte de luz natural y que el máximo es el sugerido por cuestiones económicas, pero no hay ningún inconveniente fisiológico en el personal si se supera ese valor. Es aconsejable, antes de encarar un proyecto de iluminación en un área industrial, verificar los requerimientos que pueda tener la ART con la cual la Empresa o propietario de la industria trata.

SISTEMAS DE ILUMINACION DE INDUSTRIAS

Hay tres sistemas básicos para iluminar un área industrial: iluminación general, iluminación localizada e iluminación local. Los dos primeros pueden ser utilizadas como único sistema de iluminación o como sistema principal, el tercero se utiliza para complementar a los dos anteriores donde resulte necesario.



Nave industrial de gran altura.

Iluminación general

La iluminación general es diseñada para producir una iluminancia más o menos uniforme sobre el plano de trabajo en toda el área involucrada, considerándose adecuada una uniformidad E_{min}/E_{med} no menor de 0,5. Un alumbrado con esta uniformidad asegurará una completa libertad en la ubicación de las máquinas y puestos de trabajo. Se logra mediante la instalación de luminarias distribuidas regularmente por encima del área a iluminar.

La elección de lámparas, entre las tubulares fluorescentes o las de descarga en gas, dependerá en principio de la altura de montaje disponible. Esto puede, por supuesto, variar de un tipo de industria a otro. A fin de facilitar el diseño de la iluminación, es conveniente dividir las industrias en cuatro grupos de acuerdo al tipo de edificio y la altura de montaje, según la siguiente tabla.

Altura de montaje (m)	Edificios típicos industriales
2,5 - 3,0	Edificio similar a uno de oficinas, de varios pisos
3,0 - 4,0	Edificio fabril de uno o varios pisos
4,0 - 7,0	Edificio fabril de un piso
más de 7,0	Nave industrial de gran altura

Las recomendaciones para cada una de ellas son las que siguen.

Altura de montaje 2,5 – 3,0 m

Muchas industrias modernas se ubican en edificios de varios pisos que desde el punto de vista arquitectónico tienen mucho en común con los de oficinas. Generalmente tienen cielorrasos lisos, pintados de blanco, que sirven como extensos reflectores para la obtención de una mejor difusión de la luz y para mejorar la distribución de luminancias en el campo visual.

Al igual que en las oficinas, la iluminación con tubos fluorescentes ofrece la mejor relación entre calidad y costos. Cuando el layout de los puestos de trabajo no es conocido o se sabe que será modificado con frecuencia, la iluminación cenital puede hacerse mediante una distribución de líneas de luminarias de tubos fluorescentes uniformemente espaciadas o en una grilla regular, que permita obtener la iluminancia pretendida sobre todo el interior. Por otra parte, donde el layout es permanente, es posible utilizar un sistema asimétrico más económico, colocando las luminarias sobre los puestos de trabajo y dejando que las circulaciones queden iluminadas con menor nivel mediante la luz dispersa.

Debido a la baja altura disponible, se debe prestar atención al control del deslumbramiento, especialmente en aquellos lugares en los que se usan terminales de computadoras, en los cuales se deben utilizar luminarias con buen apantallamiento. Si en estos lugares se opta por líneas continuas de luminarias, estas deben ser paralelas a las ventanas y perpendiculares a las direcciones de visión principales de los trabajadores.

Altura de montaje 3,0 - 4,0 m

Para alturas de montaje de hasta 4,0m, las luminarias para tubos fluorescentes con reflector suelen ser la solución más conveniente.

Las luminarias se colocan en líneas continuas o discontinuas, paralelas a las ventanas y dirección principal de visión y perpendiculares a los puestos de trabajo, sean éstos bancos o máquinas. Esta disposición evita por un lado las sombras que puede producir el propio trabajador y por otro reduce la posibilidad de que la luz se refleje de las máquinas a sus ojos. La disposición alternativa en la cual las líneas de luminarias con lámparas muy bien apantalladas están perpendiculares a la dirección normal de la mirada brinda una impresión general más agradable, pero dado que no se pueden lograr ambos beneficios a la vez, en el alumbrado industrial suele darse más importancia a las buenas condiciones de visión en el puesto de trabajo que a la impresión general.

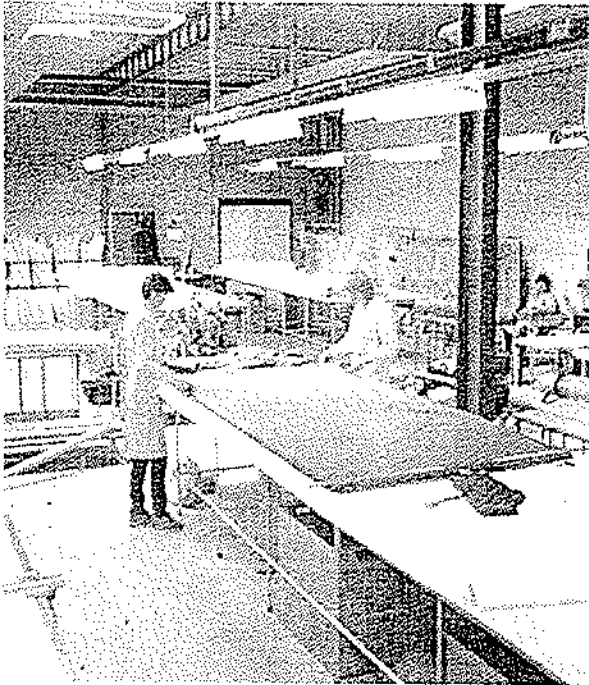
Altura de montaje 4,0 – 7,0 m

Edificios industriales de una sola planta con esta altura tienen habitualmente un techo plano o en forma de diente de sierra con partes de vidrio u otro material translúcido o transparente, o bien ventanas laterales en la parte superior de las paredes. Esto ayuda a la iluminación por la contribución de la luz natural, pero cualquiera sea la índole de la tarea es necesario agregar iluminación artificial, aún durante el día.

La solución habitual es emplear luminarias con reflector para tubos fluorescentes en líneas perpendiculares o paralelas a las ventanas.

Industria de baja altura, menor de 4 m, similar a una oficina.

Para las alturas de techo menores se las monta adosadas al cielorraso o en la parte inferior de la estructura del techo, mientras que para las alturas mayores se las suspende desde el techo de modo que queden unos cuatro metros sobre el piso. Las lámparas fluorescentes con balastos electrónicos que permitan dimerizar la luz artificial cuando la luz natural es abundante pueden ser una solución económicamente ventajosa.



Industria de 4 a 7 m. de altura, iluminada con tubos fluorescentes en líneas discontinuas.

Una alternativa a las luminarias con tubos fluorescentes cuando la altura de montaje es de al menos 6m es emplear una menor cantidad de lámparas más potentes con una mayor separación entre ellas. Esto conduce a mayor economía en la instalación, operación y mantenimiento, pero debe tenerse cuidado en mantener una aceptable uniformidad y evitar la generación de fuertes sombras que habitualmente produce el uso de pocas luminarias.

Las lámparas utilizadas son de tres tipos: a vapor de mercurio de color corregido, a vapor de sodio de alta presión y de halogenuros metálicos. Se las coloca en las clásicas "campanas industriales" cuyo reflector de aluminio, además de proveer el adecuado grado de concentración de la luz, sirve para apantallar la lámpara, evitando que sea vista desde ángulos normales de visión. Este apantallamiento, sumado al hecho de que la altura de montaje es elevada, suele asegurar que el deslumbramiento sea evitado. Las luminarias de haz estrecho son las más adecuadas cuando se requiere buena penetración de la luz, por ejemplo para iluminar áreas en el piso entre máquinas, estanterías o pilas de materiales, mientras que las de haz ancho son apropiadas

donde se necesita buena iluminación sobre áreas verticales, como ser tableros o racks con mercaderías. Desde hace unos pocos años se adopta en algunas industrias, especialmente la alimenticia, el uso de campanas como la indicada pero cuyo reflector se construye en acrílico o policarbonato transparentes. Estas luminarias tienen menor rendimiento que las metálicas, pues dejan salir parte de la luz hacia arriba, a la vez que limitan menos el deslumbramiento, pues no ocultan totalmente a la lámpara. Sin embargo, al emitir luz hacia arriba permiten ver el espacio en su dimensión total, facilitando sobre todo verificar la limpieza del ambiente, lo cual es un tema crítico en la industria alimenticia.

Altura de montaje de más de 7,0 m

En los edificios de un piso con techos muy altos las fuentes de iluminación deben ser colocadas también a gran altura. Esto se hace para mantener despejado el espacio, permitiendo el paso de puentes - grúa u otros equipos. La mayoría de estas industrias utilizan líneas de luminarias tipo campana industrial, alojando lámparas de halogenuros metálicos, sodio de alta presión o mercurio de color corregido.

En algunos casos, ya sea porque se necesita iluminar planos verticales de gran altura, como puede ser en astilleros, o bien para simplificar el mantenimiento, como sucede en acerías, se puede obtener un buen resultado colocando proyectores con lámparas de halogenuros metálicos o vapor de sodio de alta presión sobre los costados de la nave. Esto facilita el mantenimiento, ya que se los puede colocar sobre una pasarela de fácil acceso, evitando el uso de andamios para cambiar lámparas como sucede de adoptarse lo indicado anteriormente.



Iluminación local, para reforzar la general en lugares donde esta resulta insuficiente

Iluminación localizada

En aquellos interiores en los cuales la disposición de los puestos de trabajo es permanente, el uso de la iluminación localizada en lugar de la iluminación general puede producir mayor confort al trabajador, reduciendo a la vez los costos de energía y de mantenimiento.

Las luminarias deben concentrarse a alturas relativamente bajas sobre las áreas de trabajo de modo de establecer en ellas las mayores iluminancias, proveyendo al mismo tiempo un adecuado nivel en los espacios de circulación o depósitos, en los que sólo se requiere iluminación para orientación. Se debe tener especial cuidado con las luminancias en el entorno visto de forma integral, de modo que no aparezca demasiado oscuro por la limitada cantidad de iluminación general.

Iluminación local

Los requisitos para cierto tipo de tarea con respecto al nivel de iluminación y la calidad del alumbrado pueden ser tales que no es ni técnicamente recomendable ni económicamente viable satisfacerlos sólo mediante un sistema de iluminación general. Cuando la iluminación localizada tampoco es posible, la solución es colocar iluminación local.

La iluminación local es diseñada para iluminar el área ocupada para cierta tarea visual y su entorno inmediato. Se la emplea también para incrementar la iluminancia en puestos de trabajo en los que, debido a la presencia de obstáculos (incluido el propio trabajador) no están suficientemente bien iluminados por la iluminación general.

Desde el punto de vista del mantenimiento del deseado balance de brillos en el área de la tarea visual y en el campo visual circundante, es aconsejable utilizar la iluminación local como suplemento de la general, pero nunca como un sustituto de ella.

Tareas especiales en la industria

A menudo los procesos de manufactura consisten en tareas que, por razones técnicas o económicas, requieren especial atención visual. A fin de lograr óptimas condiciones visuales para llevar a cabo tales tareas, ellas deben ser analizadas cuidadosamente.

Una vez que se conocen los requerimientos visuales se debe crear el necesario contraste entre los detalles a ser distinguidos y el fondo contra el cual se los debe ver, para lo cual se suelen utilizar métodos especiales de iluminación, como ser la incidencia de luz rasante para ver defectos en superficies pulidas o a trasluz para verlos en superficies transparentes.

Tabla I

**Iluminancias en áreas de trabajo establecidas por el Decreto 351/79,
reglamentario de la Ley de Higiene y Seguridad en el Trabajo.**

Iluminancia mínima sobre el plano de trabajo

1 Tareas que exigen máximo esfuerzo visual: 300 lux	Trabajos de precisión máxima que requieren: finísima distinción de detalles condiciones de contraste malas largos espacios de tiempo
2 Tareas que exigen máximo esfuerzo visual: 200 lux	Trabajos de precisión que requieren: fina distinción de detalles grado mediano de contraste largos espacios de tiempo Tales como: moblaje fino, trabajo a gran velocidad, acabado fino, pintura extrafina, costura de ropa oscura, mesas de dibujo.
3 Tareas que exigen esfuerzo visual: 150 lux	Trabajos prolongados que requieren: fina distinción de detalles grado moderado de contraste largos espacios de tiempo Tales como: trabajo corriente de banco de taller y montaje, trabajo en maquinaria de taller, inspección y montaje, trabajo de oficina.
4 Tareas que exigen esfuerzo visual corriente: 100 lux	Que requieren: distinción moderada de detalles grado normal de contraste espacios de tiempo intermitentes Tales como: trabajos en máquinas automáticas, mecánica automotriz, embalaje y expedición, salas de archivos y conferencias.
5 Tareas que exigen poco esfuerzo visual: 70 lux	Tales como: sala de calderas, depósitos de materiales, cuartos de aseo, escaleras.
6 Tareas que no exigen esfuerzo visual: 40 lux	Tales como: tránsito por vestíbulos y pasillos, almacenes, carga y descarga de elementos no peligrosos.

Esta tabla no incluye tareas muy especiales que requieren niveles de iluminación por encima de los detallados en el punto I. Estos serán determinados por la Autoridad de Aplicación a solicitud de Parte.

Como se ve en la tabla anterior, la Ley de Higiene y Seguridad en el Trabajo establece los valores mínimos que debe tener la iluminancia media para cada tarea. La tabla que sigue, extraída de la Norma IRAM-AADL J 20-06 fija un rango de valores. Las condiciones adicionales determinarán si se adopta el valor mínimo, el máximo o un valor intermedio. Esas condiciones adicionales pueden ser, por ejemplo, la edad promedio de los trabajadores, la existencia o no de luz natural durante las horas de trabajo, las exigencias de la ART, etc.

1	Visión ocasional solamente:	Para permitir movimientos seguros en circulaciones de poco tránsito: salas de calderas, depósitos de materiales toscos y voluminosos, placares y armarios.
2	Tareas intermitentes ordinarias o fáciles con contraste fuerte:	Trabajos toscos intermitentes y mecánicos, inspección general y contado de stock, colocación de maquinaria pesada.
3	Tareas moderadamente críticas, prolongadas, con detalles medianos:	Trabajos medianos mecánicos y manuales, inspección y montaje, trabajos comunes de oficina, tales como: lectura, escritura, archivo.
4	Tareas severas y prolongadas, de poco contraste:	Trabajos finos, mecánicos y manuales, montaje e inspección, pintura extrafina, sopleado, costura de ropa oscura.
5	Tareas muy severas y prolongadas, con detalles minuciosos y muy poco contraste:	Montaje e inspección de mecanismos delicados, fabricación de herramientas y matrices, inspección con calibre, trabajo de molenda fina.
6	Tareas excepcionalmente difíciles o importantes:	Para trabajo fino de relojería y reparación, 5000 a 15000 lux para casos especiales, como por ejemplo iluminación de campo operatorio en una sala de cirugía.

La Norma IRAM – AADL J 20 06 contiene una segunda tabla, en la que se mencionan los niveles de iluminancia requeridos para más de 400 tareas específicas. Cuando la tarea a realizar no figura en esta tabla, que se transcribe a continuación, se debe establecer una iluminancia acorde a otra tarea que tenga un grado similar de exigencia visual, manteniéndose dentro de lo especificado en la tabla anterior, que describe las tareas en forma genérica. En la tabla siguiente se transcribe la parte correspondiente a Iluminación de Industrias.

ILUMINACION DE INDUSTRIAS

Tabla de la Norma IRAM - AADL J 20 06

Valores mínimos
en servicio.



ALIMENTICIA

Tipo de Edificio, Local y Tarea Visual

LUX

▼ Mataderos Corrales	Recepción	50
	Inspección	300
	Permanencia	50
	Matanza	100
	Deshollado	100
	Escaldado	100
	Evisceración	300 - 1)
	Inspección	300 - 1)
	Mostradores de ventas	300 - 1)
▼ Frigoríficos	Cámaras frías	50
	Salas de máquinas	150
▼ Conservas de carne	Corte, deshuesado, elección	300 - 1)
	Cocción	150
	Esterilización	150
	Inspección	300
	Preparación de embutidos	300
▼ Conservas de pescados y mariscos	Recepción	300 - 1)
	Lavado y preparación	100
	Cocción	100
	Envasado	300
	Esterilización	100
	Inspección	300
	Embalaje	200
	Preparación de pescado ahumado	300
	Secado	300
▼ Conservas de frutas y verduras	Cámara de secado	50
	Recepción y selección	300
	Preparación mecanizada	150
	Envasado	150
	Esterilización	150
	Cámaras de procesado	50
	Inspección	300
	Embalaje	200
▼ Molinos harineros	Depósito de granos	100
	Limpieza	150
	Molienda y tamizado	100
	Clasificación de harinas	100
	Colocación en bolsas	300
▼ Silos	Zona de recepción	100
	Circulaciones	100
	Sala de comando	300
▼ Panaderías	Depósito de harinas	100
	Amasado sobre artesas	200
▼ Cocción	Iluminación general	200
	Delante de los hornos	300
▼ Fábrica de bizcochos	Depósito de harinas	100
	Local de elaboración	200
	Inspección	300
	Depósito de productos elaborados	100

1) Las fuentes luminosas a
utilizar tendrán una buena
reproducción del color



ALIMENTICIA	Pastas alimenticias	Depósito de harinas	100
		Local de elaboración	200
		Secado	50
		Inspección y empaquetado	300
	Torrefacción de café	Depósito	100
		Torrefacción	200
		Inspección y empaquetado	300
	Fábrica de chocolate	Depósito	100
		Preparación de chocolate	200
		Preparación de cacao en polvo	200
		Inspección y empaquetado	300
	Usinas pasteurizadoras	Recepción y control de materia prima	200
		Pasteurización	300
		Envasado	300
		Encajonado	200
		Laboratorio	600
	Fábrica de derivados lácteos	Elaboración	300
		Cámaras frías	50
		Sala de máquinas	150
		Depósito de quesos	100
		Envasado	300
	Vinos y bebidas alcohólicas	Recepción de materias primas	100
		Local de elaboración	200
		Local de cubas: circulaciones	200
		Curado y embotellado	300
		Embalaje	150
	Cervezas y malterías	Depósito	100
		Preparación de la malta	100
		Trituración y colocación de la malta en bolsa	200
		Elaboración	300
		Locales de fermentación	100
	Embotellado	Lavado y llenado	150
		Embalaje	150
	Fábrica de azúcar	Recepción de materias primas	100
		Elaboración del azúcar, iluminación general	200
		Turbinas de trituración	300
		Almacenamiento de azúcar	100
		Embolsado	200
		Hornos	Ilum. especial
		Sala de máquinas	150
		Tableros de distribución y laboratorios	300
	Refinerías	Iluminación general	100
		Amasado, sobre cada turbina	300
		Aparato para cocción	Ilum. especial
		Molienda, sobre la máquina	300
		Empaque	200
	Fábrica de productos de confitería	Cocción y preparación de pastas,	
		iluminación general	200
		Iluminación local	400
		Elaboración y terminación, iluminación general	200
		Iluminación local	400
		Depósitos	100

1) Las fuentes luminosas a utilizar tendrán una buena reproducción del color



METALURGICA	Fundiciones	Depósitos de barras o lingotes	100
	Arena	Transporte, tamizado, mezcla, manipulación automática por transportadores, elevadores, trituradores y tamices	100
		Iluminación de moldes profundos	Ilum. espec.local
		Depósitos de modelos	100
		Zona de pesado de carga	100
	Taller de moldeo	Iluminación general	250
		Iluminación localizada en moldes	500
		Llenado de moldes	200
		Desmolde	100
	Acerías	Depósito de minerales y carbón	100
		Alimentación de altos hornos	Iluminac.especial
		Zona de colado	100
		Trenes de laminación	200
	Fragüe	Fabricación de alambre	300
		Laminación en frío	200
		Laminación en caliente	200
		Depósito de productos terminados	100
	Mecánica general, inspección y control de calidad	Depósito de materiales	100
		Trabajo grueso, contar, control grueso de objetos de depósito, etc.	300
		Trabajo fino, dispositivos de calibración, mecánica de precisión, instrumentos	1200
		Trabajo muy fino, calibración e inspección de piezas de montaje pequeñas	2000
		Instrumentos muy pequeños	3000
	Trabajo minucioso		
	Talleres de montaje	Trabajo grueso, montaje de máquinas muy pesadas	200
		Trabajo mediano, montaje de máquinas, chasis de vehículos	400
		Trabajo fino, iluminación local	1200
		Trabajo muy fino, instrumentos y mecanismos pequeños de precisión, iluminación local	2000
		Trabajo minucioso, iluminación local	3000
	Depósito de piezas sueltas y productos terminados	Iluminación general	100
		Áreas específicas, mesas, ventanillas	300
	Elaboración de metales en láminas	Trabajo en banco y máquinas especiales	500
	Máquinas herramientas y bancos de trabajo	Iluminación general	300
		Iluminación local para trabajos delicados en banco o en máquina, verificación de medidas, rectificación de piezas de precisión	1000
		Trabajo de piezas pequeñas en banco o máquina, rectificación de piezas medianas, fabricación de herramientas, ajuste de máquinas	500
	Soldadura	Iluminación general	300
		Tratamiento superficial de metales	300
	Pintura	Preparación de los elementos	400
		Preparación, dosaje y mezcla de colores	1200
		Cabina de pulverización	400
		Pulido y terminación	600
		Inspección y retoque	600

1) Las fuentes luminosas a utilizar tendrán una buena reproducción del color

DEL CALZADO

Clasificación, marcado y corte	400
Costura	600
Inspección	1000

CENTRALES ELECTRICAS

<i>Estaciones de transformación</i>	Circulación	100
	Locales máquinas rotativas	200
<i>Locales y equipos auxiliares</i>	Máquinas estáticas, interruptores, etc.	200
<i>Tableros de aparatos de control y medición</i>	Iluminación general	200
	Sobre plano de lectura (local)	400
<i>Subestaciones transformadoras</i>	Interior, iluminación general	100

CERAMICA

	Preparación de las arcillas y amasado, molde, prensas, hornos y secadores	200
<i>Barnizado y decoración</i>	Trabajos finos	800-1)
	Trabajos medianos	400-1)
<i>Inspección</i>	Iluminación local	1000

DEL CUERO

	Limpieza, curtido, igualado del espesor de los cueros, sobado, barnizado, secadores, terminación	200
	Inspección y trabajos especiales	600

IMPRENTA

<i>Taller de tipografía</i>	Iluminación general	300
	Compaginación, prensa para prueba	300
	Mesa de correctores, pupitres para composición	800
<i>Taller de linotipos</i>	Iluminación general	300
	Sobre máquina en la salida de letras y sobre el teclado	400
	Inspección de impresión en colores	1000-1)
<i>Rotativas</i>	Tinteros y cilindros	300
	Recepción	400
<i>Grabado</i>	Grabado a mano, iluminación local	1000
	Litografía	700

JOYERIA Y RELOJERIA

<i>Zona de trabajo</i>	Iluminación general	400
	Trabajos finos	900
	Trabajos minuciosos	2000
	Corte de gemas, pulido y engarce	1300

MADERERA

<i>Aserraderos</i>	Iluminación general	100
	Zona de corte y clasificación	200
<i>Carpintería</i>	Iluminación general	100
	Zona de bancos y máquinas	300
	Trabajos de terminación e inspección	600
<i>Manufactura del mueble</i>	Selección del enchapado y su preparación	900
	Armado y terminación	400
	Marquetería	600
	Inspección	600

PAPELERA

	Local de máquinas	100
	Corte, terminación	300
	Inspección	500

1) Las fuentes luminosas a utilizar tendrán una buena reproducción del color



	<i>Manufactura de cajas</i>	Encartonado fino	300
		Cartones ordinarios, cajones	200
QUIMICA	▼ <i>Planta de procesamiento</i>	Iluminación general	100
		Iluminación sobre pasarelas, escaleras	200
	▼ <i>Sobre aparatos</i>	Iluminación sobre plano vertical	200
		Iluminación sobre mesas y pupitres	400
	▼ <i>Laboratorio de ensayo y control</i>	Iluminación general	400-1)
		Iluminación sobre el plano de lectura de aparatos	600
	▼ <i>Caucho</i>	Preparación de la materia prima	200
	▼ <i>Fabricación de neumáticos</i>	Vulcanización y cámaras de aire	300
		Inspección	Ilum. espec.
	▼ <i>Jabones</i>	Iluminación general de las distintas operaciones	300
		Panel de control	400
	▼ <i>Pinturas</i>	Procesos automáticos	200
		Mezcla de pinturas	600
		Combinación de colores	1000-1)
	▼ <i>Plásticos</i>	Calandrado, extrusión, inyección, compresión y moldeado por soplado	300
		Fabricación de láminas, conformado, máquina, fresado, pulido, cementado y recortado	400
	▼ <i>Depósitos, almacenes y salas de empaque</i>	Piezas grandes	100
		Piezas pequeñas	200
Expedición de mercaderías		300	
DEL TABACO	▼ <i>Proceso completo</i>		400-1)
TEXTIL	▼ <i>Tejidos de algodón y lino</i>	Mezclado, cardado, estirado	200
		Hilado, torcido, peinado, husos	200
		Urdimbre, sobre peines	700
	▼ <i>Tejido</i>	Telas claras y medianas	400
		Telas oscuras	700
	▼ <i>Inspección</i>	Telas claras y medianas	600
		Telas oscuras	900
	▼ <i>Lana</i>	Cardado, lavado, peinado, retorcido, tintura	200
		Lavado, urdimbre	200
	▼ <i>Tejido</i>	Telas claras y medianas	600
		Telas oscuras	600
		Máquinas de tejido de punto	900
	▼ <i>Inspección</i>	Telas claras y medianas	1200
		Telas oscuras	1500
	▼ <i>Seda natural sintética</i>	Embebido, teñido, texturado	300
		Urdimbre	700
		Hilado	450
	▼ <i>Tejido</i>	Telas claras y medianas	600
		Telas oscuras	900
	▼ <i>Yute</i>	Hilado, tejido con lanzaderas, devanado	200
	Calandrado	200	

1) Las fuentes luminosas a utilizar tendrán una buena reproducción del color



DEL VESTIDO	Sombrreros	Limpieza, tintura, terminación, forma, alisado, planchado	400
		Costura	600
	Vestimenta	Sobre máquinas	600
		Manual	800
	Fábrica de guantes	Prensa, muestreo, tejido, corte	400
		Costura	600
		Control	1000



DEL VIDRIO	Sala de mezclado	Iluminación general	200
		Zona de dosificado	400
		Local de horno	100
	Local de manufactura	Mecánica, iluminación sobre máquinas	200
		Inspección	Ilum.local esp.
		Manual, iluminación general	200
		Corte, pulido biselado	400
		Terminación general	200
	Inspección	General	400
		Minuciosa	Ilum.local esp.

**Para muchos es importante
una buena iluminación...**



**Para nosotros es fundamental...
nos especializamos en eso.**

Integrante de:
Redelac

Proyectos y Diseños:
Iluminación industrial,
vial, comercial, deportiva
para el hogar.

Iluminación por fibra
óptica e Inteligente.

Equipos de iluminación
de emergencia,
automatismos y PCL.

Energía solar y eólica.

Comunicación y redes de
datos.

Asesoramiento técnico
personalizado por
profesionales.

Envíos a todo el país.

Ciardi y Hnos
MATERIALES
ELECTRICOS

En contacto positivo...

Casa Central: Av. Luro 7146 - Tel/fax: (0223) 499-1600 líneas rotativas - www.ciardi.com.ar
E-mail: iluminacion@ciardi.com.ar ciardi@ciardi.com.ar - (7600) Mar del Plata, Argentina.

Sistemas Modulares Fluorescentes



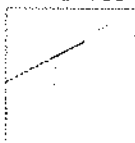
Linea BOXER

1x 2 x 18 W
1x 2 x 36 W
1x 2 x 58 W
1x 2 x 36 W Dulux
1x 105 W



Linea PRIMA

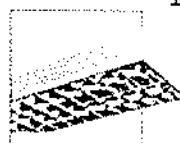
1-2-3 x 18 W
1-2-3 x 36 W
1-2-3 x 58 W
1-2 x 36 W Dulux
2 x 35 Dulux Lineal
4 x 35 Dulux Lineal



Linea VEDETTE

1-2-3 x 18 W
1-2-3 x 36 W
1-2-3 x 58 W
1-2 x 105 W
1-2 x 36 Dulux
2-4 x 36 Dulux Lineal

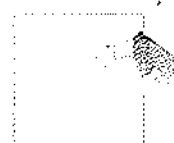
Iluminación Interior



Louver doble parabólico
Tipo plafón y de embutir
2 x 18 W
2 x 36 W
3 x 36 W Dulux



Embutidos para Dulux
Con Louver radial o con
vidrio esmerilado
2 x 18 W Dulux D
2 x 36 W Dulux D



Plafon con difusor
acrilico prismático
1-2 x 18 W
1-2 x 36 W

KIT Equipo de Emergencia



Para lámparas
fluorescentes
de 13 - 18 - 36 y 58 W.
Baterías Nicd 3.6 V. 4 A/h.
Origen: ITALIA



ARTELUM S.A.

"La opción Justa en iluminación"

Av. Elcano 4019 - C1427CHE - Buenos Aires - Argentina
Telefax: 4551-1551/0834 e-mail: artelum@artelum.com.ar
web site: www.artelum.com.ar

Proyectores p/Interior



PROYECTOR
HOI 70 W / 150 W.



PROYECTOR
Para embutir HOI, fijo y móvil
70 W / 150 W

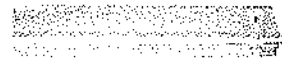


SPOT
Para embutir
Holespot 111
50 W / 12 V.



PROYECTOR
Para embutir, fijo.
HOI 70 W / HOI 150 W.

Iluminación Exterior



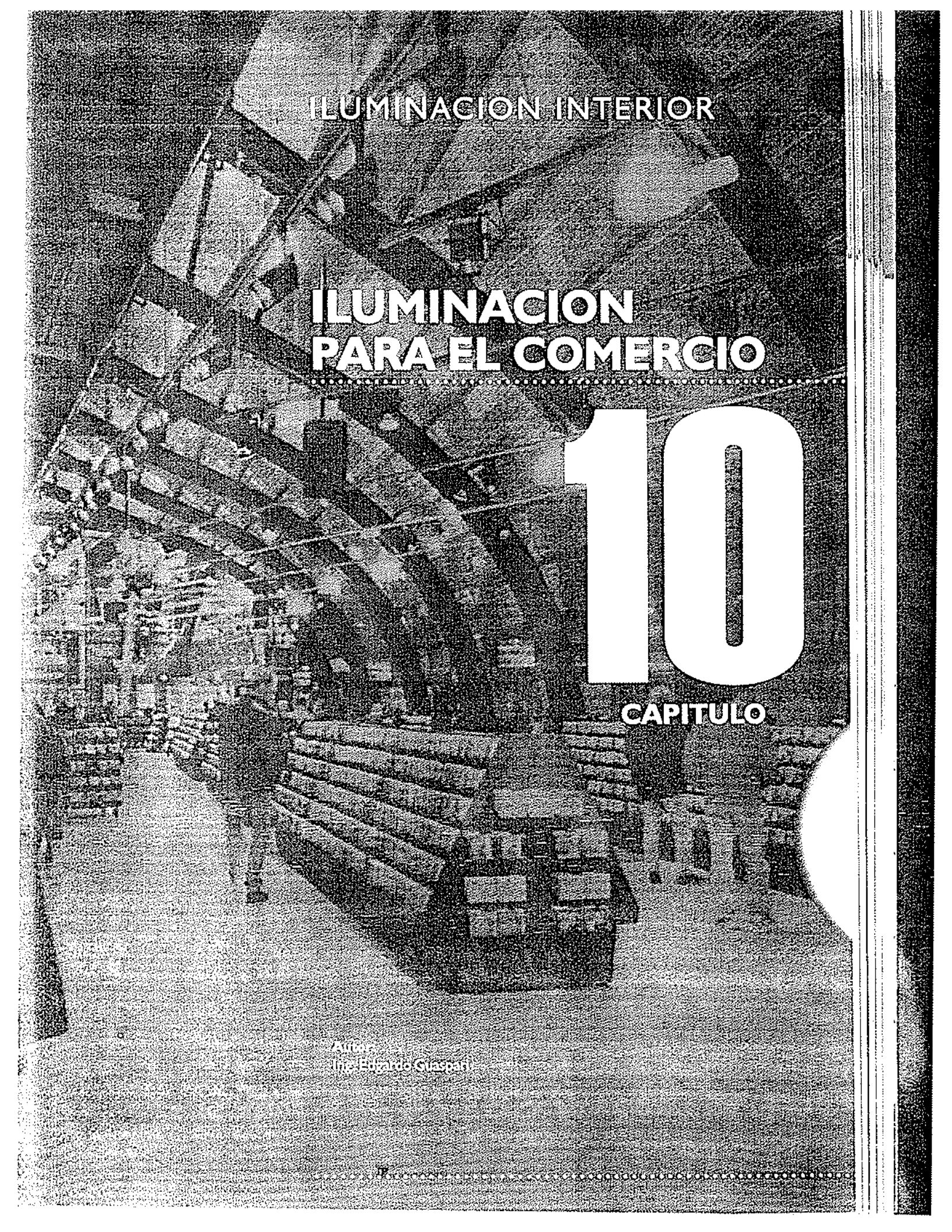
Artefacto hermetico IP67
1-2 x 18 W
1-2 x 36 W
1-2 x 58 W



PROYECTOR
para intemperie
HOI 250/400W



SPOT
para intemperie
PAR 20 W
PAR 30 W
PAR 33 W

An aerial, high-angle photograph of a city grid, showing a series of streets and buildings. A large, white, stylized number '10' is superimposed on the right side of the image. The text is in a bold, sans-serif font.

ILUMINACION INTERIOR

ILUMINACION
PARA EL COMERCIO

10

CAPITULO

Autor:
Ing. Edgardo Gaspari

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

INTRODUCCION

Comerciantes individuales y técnicos en luz dependen de un intercambio de experiencias continuo.

Todas las iniciativas son útiles. Por medio de este tratado, se pretenden transmitir motivaciones e informaciones en cuanto al empleo de la luz. A pesar de que la especial importancia de la luz esté reconocida en el ámbito de ventas, y aunque en las vidrieras y en los salones de ventas de todos los ramos existan excelentes ejemplos en cuanto al empleo de luz, se deberá comprobar, que en general las posibilidades de las promociones de ventas debido "a una buena luz" aún no están completamente agotadas.

Este hecho debería ser motivo suficiente de otorgarle al empleo de la luz, en el ámbito de ventas, la máxima atención.

Está en el interés más profundo del comercio, especialmente del comercio al por menor, de utilizar en forma óptima todas las posibilidades, que ofrece el "medio luz", todas las ventajas que ofrece el empleo óptimo tanto de las buenas técnicas de lámparas como de iluminación. El empresario en el comercio individual y todos aquellos responsables para la configuración de una vidriera y salones de venta, no deberían dejar de lado nunca las múltiples reacciones psicológicas y fisiológicas como tampoco las observaciones, sentimientos y reacciones de sus clientes.

Es importante, incluir la iluminación en el ámbito de venta de acuerdo a su importancia en la estrategia de venta respectiva, y planificar con tiempo todas las condiciones técnicas para lograr una luz correcta.

El desarrollo de este tema es el resultado de trabajos prácticos en el lugar de venta. Con seguridad, estas informaciones respecto del empleo de la luz, simplificarán decisiones empresarias y motivaciones para el manejo de luz y sombra.

ILUMINACION PARA EL COMERCIO

Análisis preliminar

No debemos pensar en resolver la iluminación de una vidriera de forma distinta a la del interior del local.

Si con la resolución de la vidriera conseguimos atraer a un posible cliente, éste, una vez dentro del local deberá poder experimentar una sensación de confort producida por los elementos que lo atrajeron en primera instancia: producto exhibido, más decoración, más luz, etc.

Para lograrlo, no podemos hablar de recetas magistrales que nos garanticen resultados excelentes en todos los casos.

La iluminación es un elemento que debe estar integrado a la arquitectura y decoración particulares de cada lugar.

¿Existen técnicas que nos ayuden a diseñar un proyecto de iluminación que cubra las necesidades de cada espacio?

Si. Algunas de estas técnicas y criterios serán tratadas en este trabajo.

Para su mejor análisis separaremos la vidriera del local propiamente dicho.

Vidriera:

Este es el gran espacio de exhibición donde el comerciante apuesta a atrapar al transeúnte. Por ende, debemos prestar la máxima atención a la resolución luminica de este lugar. Según donde se encuentre situado el comercio, calle comercial, galería o shopping, el tratamiento lumínico será diferente.

¿Cuáles son las variables a tener en cuenta?

- I Competencia comercial (locales del mismo rubro)
- II Competencia luminica (luz solar)
- III Flujo de tránsito
- IV Situación geográfica (vereda con sol o sombra)

I COMPETENCIA LUMINICA

¿Qué diferencia generará cada variable?

La competencia comercial nos obligará a elevar el nivel de iluminación de la vidriera. Para lograrlo instalaremos lámparas de la mayor potencia posible, dentro de la familia seleccionada y la altura de montaje. Tener muy en cuenta que al mencionar la mayor potencia posible, no se hace referencia a un simple valor numérico hallado en un catálogo de lámparas, sino por el contrario, a la selección de aquellas que se adecuen al lugar en función de las dimensiones y la altura del espacio de la vidriera.

A mayor brillo procedente de la lámpara, mayor deberá ser la altura de montaje. O bien no escatimar esfuerzos mecánicos en ocultar visualmente a las fuentes luminosas.

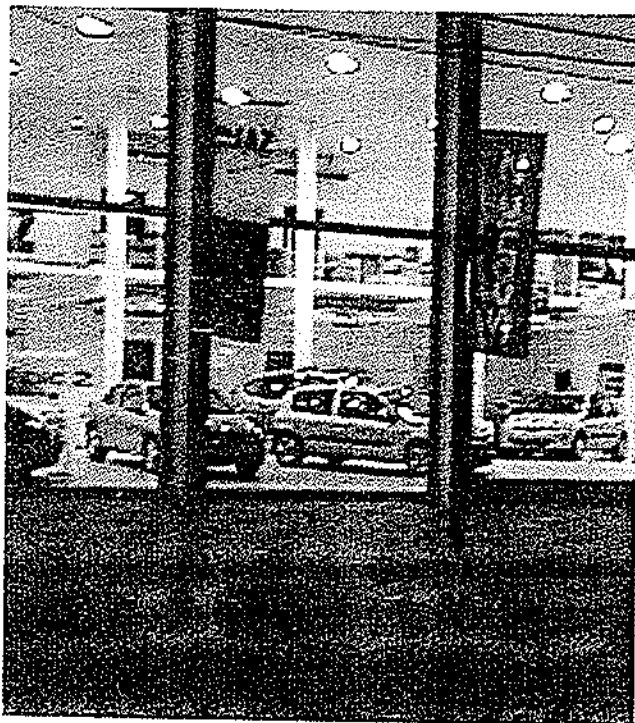
Una luz eléctrica de alto brillo generará brillo sobre los productos expuestos, creando gran carácter e importancia.

Pero no todos los elementos requieren de alto brillo.

Más adelante se exponen algunos ejemplos para tener en cuenta.

2 COMPETENCIA LUMINICA

Durante el día la iluminancia producida por la luz solar es de tal magnitud: 100.000 lux en un mediodía de verano, que convierte al vidrio de la vidriera en un espejo. Esta gran superficie reflectante hace imposible ver hacia adentro.



La manera de contrarrestar esta acción del sol es por medio de una iluminancia elevada dentro de la vidriera, de 2.000 a 10.000 lux.

Parámetros de importancia para selección de lámparas

En la actualidad existen diferentes familias de lámparas que constituyen un amplio campo de elección de acuerdo con:

- ☐ Vida (en horas)
- ☐ Rendimiento (lm/w)
- ☐ Rendimiento cromático (porcentaje de reproducción de los colores)
- ☐ Tono de luz (temperatura de color K)
- ☐ Luminancia (brillo)

Se analizará cada parámetro mencionado:

Vida: como es sabido existen lámparas con un promedio de vida de 1.000 hasta 12.000 horas aproximadamente, según su tipo. Como el tiempo de encendido diario de una vidriera es muy prolongado (12 a 24 horas diarias), el proyectista deberá elegir la de mayor vida para reducir los costos de mantenimiento.

Rendimiento luminoso: nuevamente se tendrá en cuenta la de mayor rendimiento dentro de la familia seleccionada, para proyectar la menor potencia instalada posible.

$$\eta = \frac{\text{Flujo luminoso}}{\text{Potencia}} = \frac{Lm}{W}$$

Rendimiento cromático: en la mayoría de las exhibiciones tiene una gran importancia la fidelidad con que se muestran los colores de los productos.

Se deberá tener en cuenta este factor, consultando los catálogos de los fabricantes de lámparas donde se hallarán mencionados como:

C.R.I.: color rendering index

Rc: reproducción cromática

Números: 1; 1 a; 1 b; 2; 2 a; 2 b; 3 y 4 indistintamente.

Nivel	Margen Rc	Lámparas fluorescentes			Otras lámparas		
		Color de luz	Rc	Temperatura de color similar (K)	Tipo de lámpara	Rc	Temperatura de color similar (K)
1	85...100 Excelente	11 Lumilux luz día	85	6300 tw	Incandescentes de la serie standard	100	2540-2900 ww
		15 Luz día de lujo	90	6200 tw			
		19 Daylight 5000 de lujo	95	5000 tw	Xenón XB095	95	6100 tw
		21 Lumilux blanco	85	4000 nw	Halogenuros metálicos HQI	85-93	5200-5600 tw
		22 Blanco frío de lujo	90	3800 nw			
		31 Lumilux cálido	85	3000 ww	HQI de luxe	85-90	4300 nw
		32 Blanco cálido de lujo	86	2900 ww	HQI con yoduro Sódico	60	4500 tw
2	70...84 Bueno	39 Interna	91	2600 ww			
		10 Luz día	75	6100 tw	Luz mezcla HWL	55-65	3600-4100 nw
		25 Blanco universal	76	4000 nw	Mercurio HQI	43-50	3550-4200 nw
3	40...69 Regular	36 Natura	78	3700 nw	HQI de luxe HWL de luxe	49-60 71	2900-3500 ww ww
		20 Blanco frío	62	4300 nw			
4	Hasta 39 Mala	30 Blanco cálido	52	2900 ww			
					Sodio alta presión NAV	20	2000 WW
					Sodio baja presión NA	-46	1800 Amarillo Monocromático

tw = Blanco luz día. Alrededor de 6000 K. ww = Blanco cálido. Alrededor de 3000 K.

nw = Blanco neutral de 4000 K.

* La clase de luz de referencia representa una temperatura de color (similar) con un redondeo en más o menos.

Son diferentes modos de expresar el mismo factor que se puede sintetizar como el porcentaje con que cada lámpara reproduce los colores en función de una fuente patrón: la luz del sol, (como luz natural) y la lámpara incandescente (como luz artificial).

Tono de luz o temperatura de color: estos dos términos se refieren a lo mismo e indican el color de la luz. El espectro de la luz visible se descompone en una franja que se extiende desde el rojo en un extremo hasta el azul en el otro. Las distintas familias de lámparas se pueden agrupar en tres niveles, según su tono:

- Tono cálido: (2.700 - 3.000 K). Fuente de luz enriquecida en rojos y pobre en azul.
- Tono medio: (4.000 - 4.500 K). Fuente de luz balanceada en rojos y azules.
- Tono frío: (5.000 - 6.500 K). Muy rica en azul con escaso aporte de rojos.

Algunos tipos de lámparas con mayor desarrollo tecnológico emiten tanto azul como rojo, pese a la alta temperatura del color.

Luminancia - Brillo: las dos expresiones son sinónimos. ¿Cómo se evalúan prácticamente las diferencias de brillo entre dos lámparas? Es muy sencillo: a potencia luminosa constante (Lm) poseerá mayor brillo la lámpara de menor tamaño.

Ejemplo:

Tubo fluorescente de 110W blanco

Tamaño: 2.40 m
Flujo luminoso: 9.000 Lm

BAJO BRILLO

Mercurio halogenado 150W

Tamaño: 0.03 m
Flujo luminoso: 11.000 Lm

ALTO BRILLO

¿Qué determinará la elección de fuentes luminosas de alto o bajo brillo? Obviamente el tipo de producto. La recomendación es la siguiente:

A1: lámparas de alto brillo y tono medio o frío serán las más adecuadas, para productos: Tecnológicos, Acero inoxidable, Platería, Cristalería sin color, Porcelana blanca, etc.

A2: lámparas de alto brillo, tono cálido en productos como: Cristalería de color, Muebles, Joyas, Bijouterie, Libros, etc.

B1: bajo brillo de tono medio o frío en productos como: Blanco, Ropa informal, Pielés, Vestidos de novia, Mercería, etc.

B2: bajo brillo, tono cálido en: Prendas de cuero, Zapatos, Carteras, Ropa fina, etc.

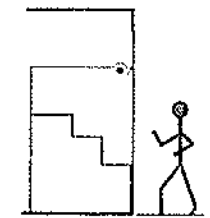
Estas últimas aplicaciones B1 y B2 admiten un complemento de luz de destaque. Para tal fin se utilizan lámparas microreflectoras de haces muy cerrados (8 ó 12 grados). Esta luz proyectada sobre algún objeto preseleccionado, lo destacará del entorno iluminado por las otras fuentes. En vidrieras de locales en shoppings y/o galerías comerciales, estas lámparas microreflectoras podrán ser las únicas fuentes de luz que iluminen la vidriera. Esta resolución será adecuada, ya que no existe la competencia solar que espeja el vidrio.



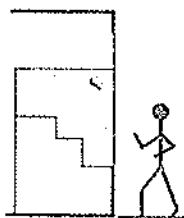
Por otra parte es muy común que en este tipo de locales la vidriera no tenga fondo mostrando, a través de ella, toda la superficie del local. Si la iluminación interior es suficientemente alta, se generará un interesante contraste entre vidriera e interior.

Montaje de luminarias

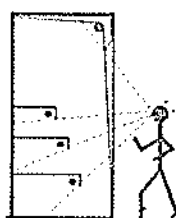
Si se ha decidido utilizar luz proyectada, los iluminantes deberán estar cercanos al vidrio, o sea, lo mas cerca del observador posible para que la dirección de la visión y de la luz proyectada sea la misma. Si a lo anterior se le agrega que la vidriera es muy pequeña y/o posee un techo muy bajo, se deberá limitar el brillo de las lámparas por medio de elementos mecánicos, como por ejemplo, flaps, louvers, eenefas oscuras de tela o madera.



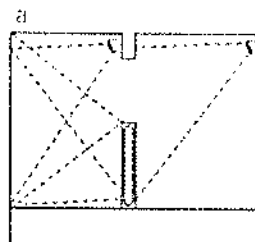
Iluminación con tubos fluorescentes apantallados hacia adelante



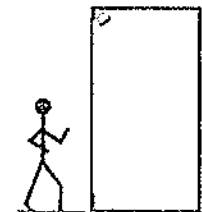
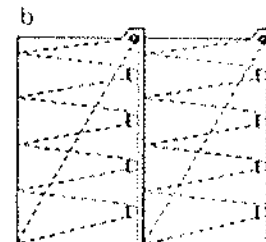
Iluminación con lámparas reflectoras apantalladas hacia adelante



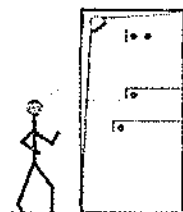
Iluminación de estantes sin encandilamiento



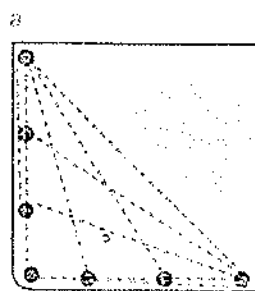
Artefactos reflectores en el cielorraso con tubos fluorescentes dispuestos lateralmente para aclarar sombras.
a- Corte/sección
b- plano horizontal



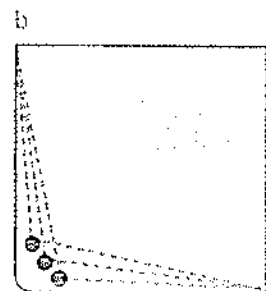
Protección de encandilamiento a través de la forma y dirección del artefacto



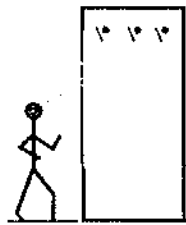
Posibilidades del apantallado



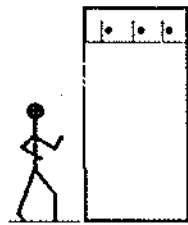
Vidrieras en esquina con tubos fluorescentes apantallados, distribuidos en forma (uniforme)



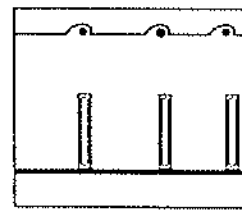
Vidrieras en esquina con tubos fluorescentes apantallados, concentrados en un solo lugar.



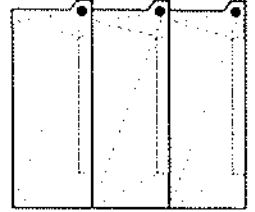
Apantallado contra encandilamiento directo por reflectores ubicados diagonalmente



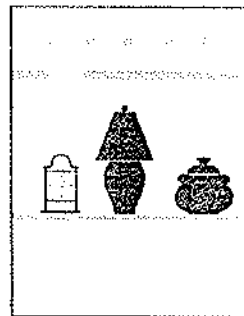
Apantallado de los artefactos en el empotrado del cielo raso a través de protecciones adicionales



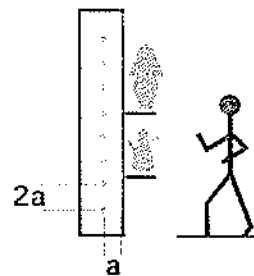
Alumbrado general con tubos fluorescentes empotrados en el cielo raso con "Aclaradores" de sombra adicionales.
 a Corte/sección
 b plano horizontal



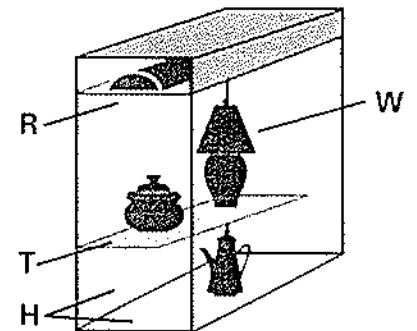
Si en cambio se utilizaran fuentes de luz de bajo brillo, la resolución será más sencilla. En este caso el control de deslumbramiento producido por las lámparas se atenuará con un elemento también mecánico o difusor del tipo de acrílico lechoso, vidrio satinado o arenado o film específico.



Iluminación de estante desde arriba (Disco-Modulo).



Iluminación en la pared de vidrio desde atrás.
 Distancia de tubos: máximo 2a.

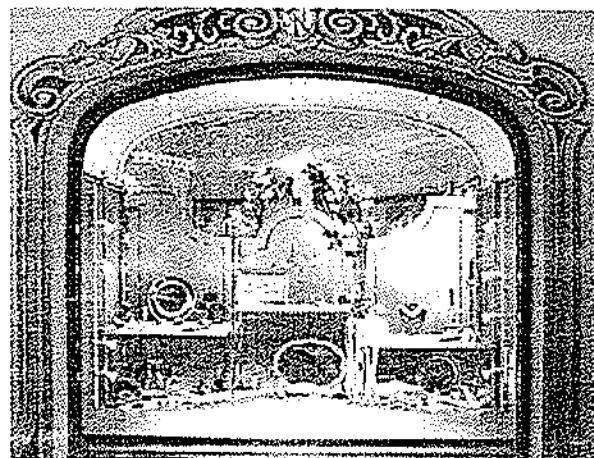


Iluminación de vidriera para mercaderías de vidrio.

- R Pared y piso, mate oscuro
- W Módulo, negro o espejado
- T Estante de vidrio claro
- H Mercadería en exposición

Iluminancia

Para un flujo intenso de personas un local con iluminación de bajo nivel pasará desapercibido. Por lo tanto, esta variable también determinará que se instale un flujo luminoso importante. Como ya se ha mencionado, serán standard los niveles entre 2.000 y 10.000 Lux.



3 FLUJO DE TRANSITO

Los niveles de iluminancia requeridos en vidrieras durante el día son mucho más elevados que durante la noche.

Durante el día, el brillo de lo expuesto debe ser lo suficientemente alto como para vencer las imágenes reflejadas de los automóviles estacionados junto a la vereda, de las veredas claras, de los edificios en color a lo largo de la calle.

Como regla general, para ver a través de las imágenes reflejadas en el vidrio de la vidriera, la exposición debe ser al menos tan brillante como dichas imágenes, y preferiblemente de un brillo varias veces mayor. Las imágenes reflejadas de gran tamaño y brillo relativamente uniforme, como por ejemplo, el cielo, aumentan el brillo aparente de las partes de la exposición que están en sombra relativa, tendiendo así a distribuir contrastes que pudieran haberse planeado para conseguir efectos espectaculares. Las imágenes de superficies brillantes aisladas como las del sol reflejado en las carrocerías de los automóviles, causan brillos anormales sobre los artículos expuestos y son más confusas y molestas que las del brillo uniforme.

Las imágenes reflejadas pueden controlarse mediante la colocación sesgada del cristal y la instalación de un toldo. Este deberá ser opaco, con la superficie interior de baja reflectancia y preferiblemente de un solo color, en vez de rayado. Esta técnica es satisfactoria para cualquier orientación de la tienda.

Las tiendas situadas en la acera sur de la calle, pueden reducir al mínimo las imágenes reflejadas mediante la colocación inclinada del cristal en la parte inferior. La parte de la vidriera deberá tener baja reflectancia, como así también la vereda.

Por estas razones, es difícil dar leyes generales sobre niveles de iluminación en vidrieras. Cada uno es un caso especial y debe estudiarse en relación con su orientación y alrededores.

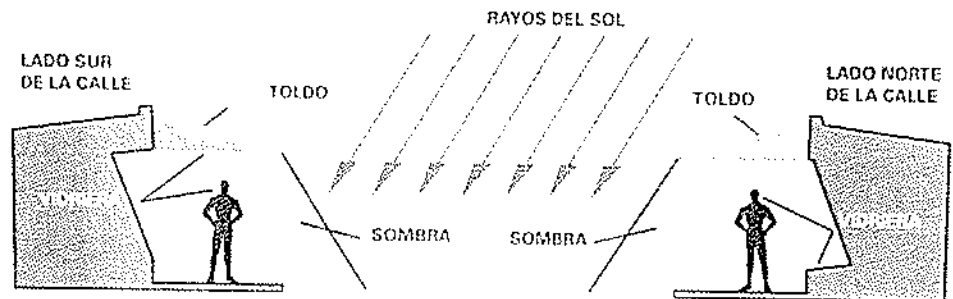


4 SITUACION GEOGRAFICA

Si el local se encuentra en la vereda sobre la que incide el sol, debemos contrarrestar el efecto de espejamiento antes mencionado con elementos mecánicos, como ser: toldos oscuros, vereda negra o hasta modificando el ángulo de inclinación del vidrio.

Vidrieras fondo abierto

El problema de hacer frente en las imágenes reflejadas en vidrieras es aún más complicado en el caso de grandes vidrieras sin fondo que cuando se trata de las vidrieras convencionales con un fondo que oscurece la visión desde la calle hacia el interior de la tienda. En las tiendas con este tipo de vidrieras la zona de exposición es todo el interior y es evidente que resulta imposible crear un brillo suficientemente alto que supere las imágenes reflejadas. Las vidrieras pueden llevar cristales sesgados, o se pueden utilizar con eficacia ciertos toldos.



La iluminación de un local que evidencia diseño previo será la que contenga 3 tipos de fuentes luminicas, a saber:

- General
- Destaque
- Perimetral

Cualquier tipo de negocio tratado con estas tres resoluciones en forma conjunta, poseerá un gran carácter y alto confort visual.

Interior del local:

El nivel de iluminación general estará dado por la velocidad de compra del producto ofrecido, según se muestra en el cuadro siguiente:

NIVELES DE ILUMINANCIA

en diferentes locales, en función del tiempo de compra

	Rápido	Medio	Lento	Relación de contraste
Circulación	300	200	100	1
Mercadería	1000	700	300	3 1
Destaque	5000	3000	1500	5

Ejemplo de locales:

Rápido: Supermercados

Medio: Boutiques, Bazares

Lento: Zapaterías, mueblerías, joyerías.

La iluminación de destaque es muy importante, pero con una cierta relación con la general. Si es pobre, no producirá ningún efecto y el local será aburrido, si es exagerada, los productos se verán planos como en una foto.

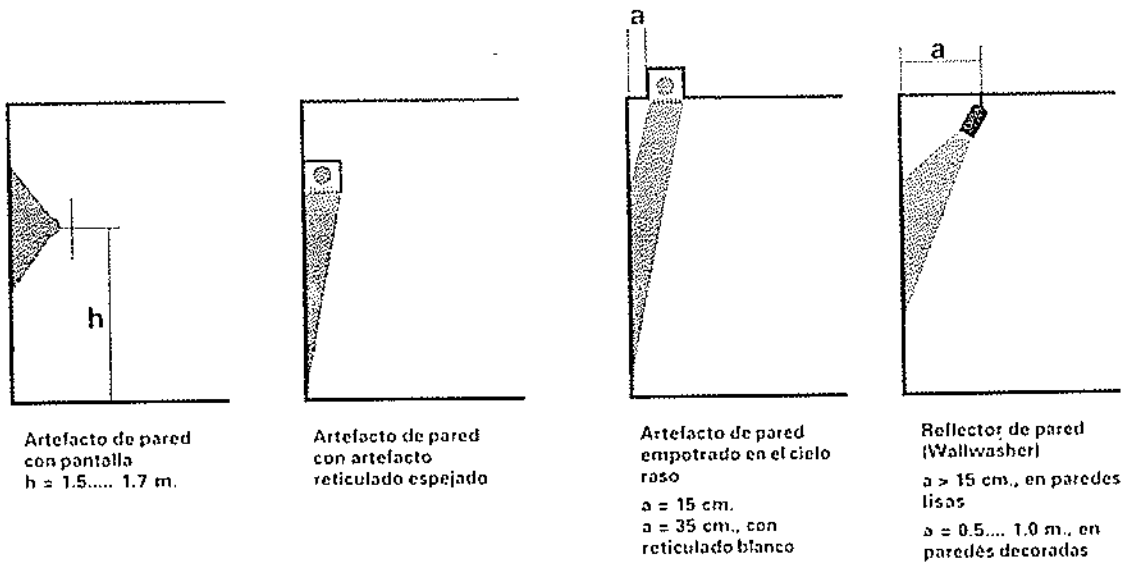
La relación justa producirá un despegue de las zonas u objetos del resto que lo rodea. La relación más adecuada será la de 1 a 5. Se considera como 1 el valor de la iluminancia general del local y 5 para la luz de destaque, la general quintuplicada. Este valor que puede llegar a niveles de hasta 5.000 lux estará aplicado a algún objeto o a una pequeña zona del local. Así llamará la atención y no será molesto.

Se logrará mediante lámparas proyectoras, microproyectoras o proyectores de potencia y ángulo de luz controlados.

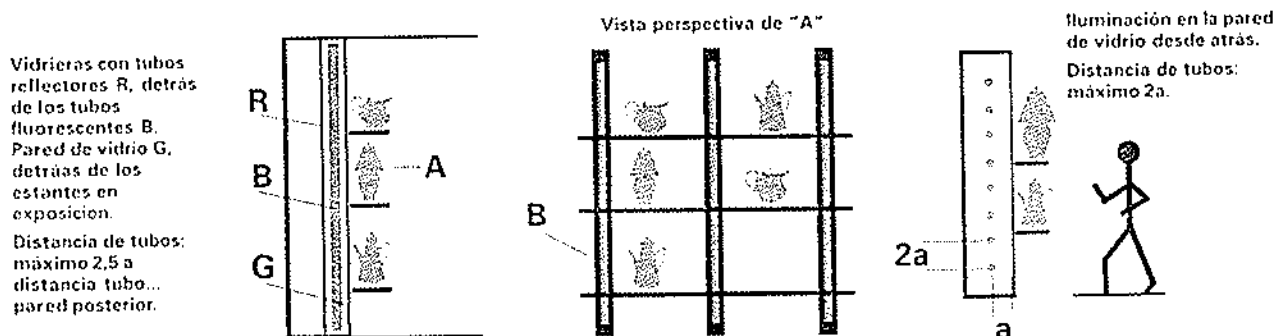
La iluminación perimetral será un excelente complemento de las dos anteriores, produciendo lo siguiente: todos los productos exhibidos sobre las paredes participarán en el entorno visual general. Un plano iluminado aunque no posea exhibición, se integra visualmente y alegra el espacio. Esta iluminación corrige cualquier error de diseño de la iluminación general. Lo logra porque en la distancia se nos presenta a nuestra visión más evidente un plano vertical que uno horizontal.

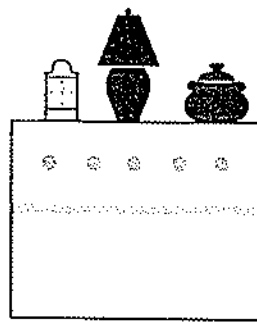
Este tipo de iluminación se resolverá con artefactos del tipo wall washer (*distribución luminosa asimétrica*) o bien, si existieran vitrinas en el perímetro con luz dentro de las mismas.

De contar el local con mostradores vidriados, la iluminación no deberá instalarse directamente sobre ellos, sino ligeramente adelantados, sobre la cabeza del observador para que este no vea reflejados sobre el vidrio los puntos luminosos.

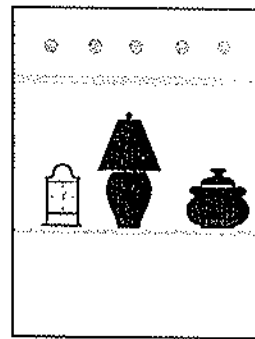


Otra resolución podría ser una luz extendida dentro del mostrador-vitrina, oculta mediante una cenefa o artefacto especialmente diseñado.

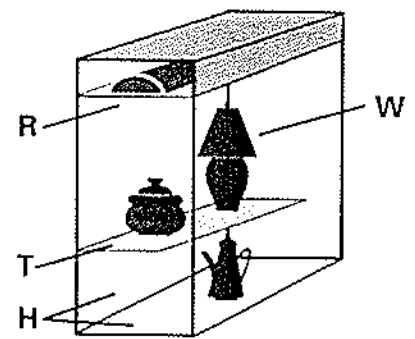




Iluminación de estante
vidriado desde abajo.

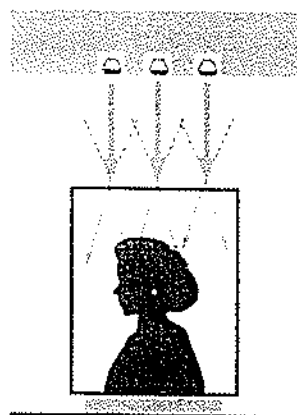


Iluminación de estante
desde arriba (Disco-Modulo)

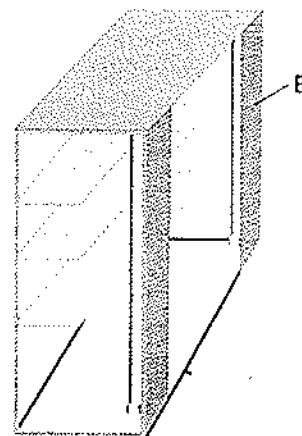


Iluminación de vidriera
para mercaderías de vidrio.

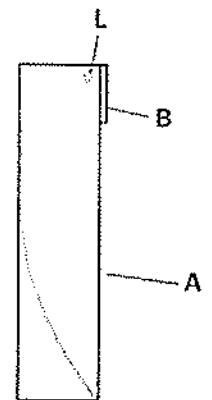
- Pared y piso, mate oscuro
- Módulo, negro o espejado
- Estante de vidrio claro
- Mercadería en exposición



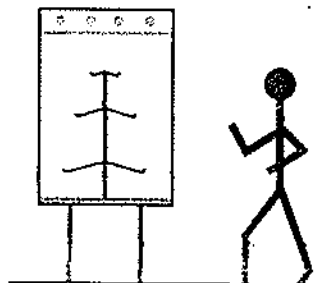
Vitrina libre con techo de vidrio



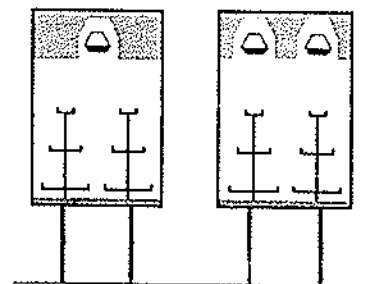
Vitrina con tubos fluorescentes
dispuestos lateralmente,
detrás de los reflectores B, para
la protección de la visión directa.



Vitrina con tubo fluorescente L.
Detrás del reflector B en pared
posterior doblada A:
para iluminación mejorada
(Ej: pizarrón), adecuado para
vitrinas de escasa profundidad y
para productos a ser expuestos
bastantes chatos.

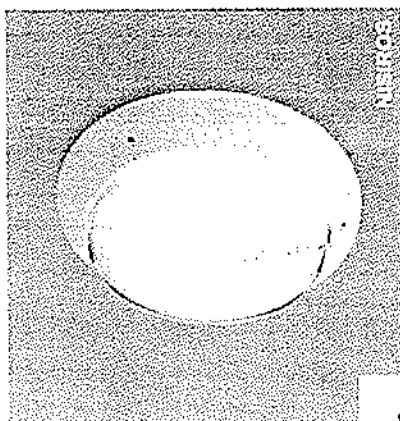


Vitrina con cielorraso con rejilla,
especialmente adecuado para
objetos chato (papejería, diarios,
entre otros).

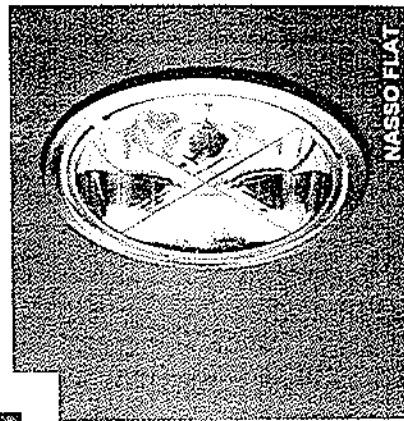
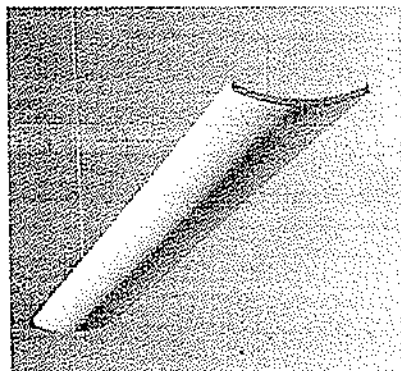


Vitrina con una o dos hileras de lámparas
incandescentes reflectoras, especialmente
adecuado para joyas y textiles.

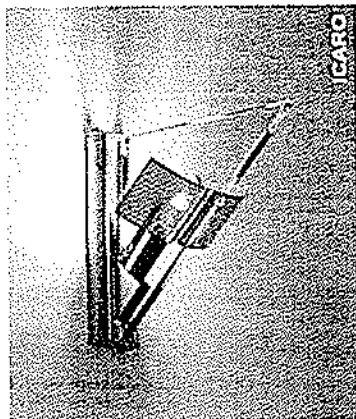
ARTEMIDE, AQUÍ EN BUENOS AIRES. EN TIEMPO REAL



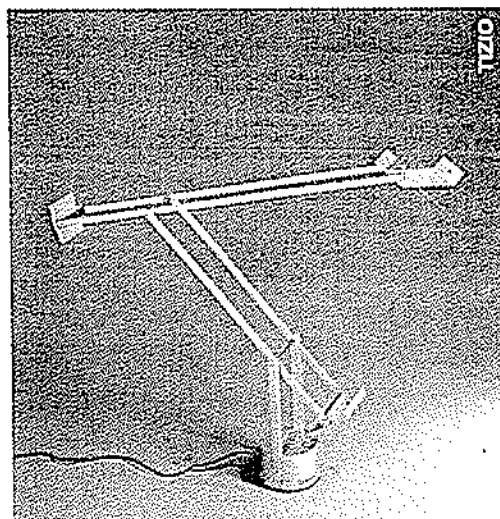
NISROS



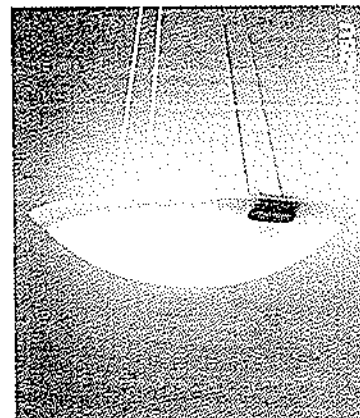
NASSO FLAT



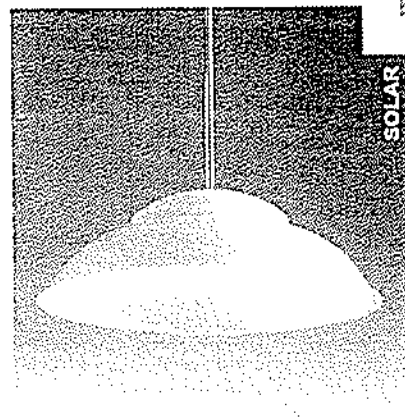
ICARO



TIZIO



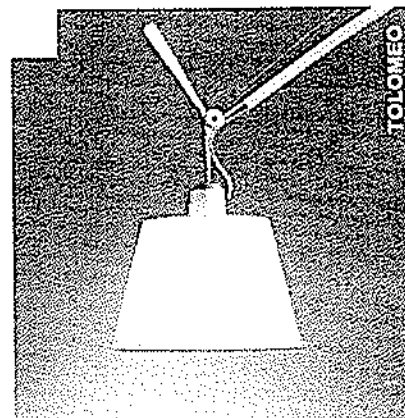
ICARO



SOLAR



SURFARQUE



TOLOMEO



TOLOMEO



E-LIGHT

Artemide, la empresa italiana que diseña y produce artefactos de iluminación, tiene su sede en Argentina. En un espacio donde se conjugan distintos ambientes que permiten conocer las líneas de artefactos: decorativa y arquitectura, así como un sector donde los visitantes tienen un rápido y cómodo acceso al material gráfico y electrónico de la diversidad de productos Artemide.

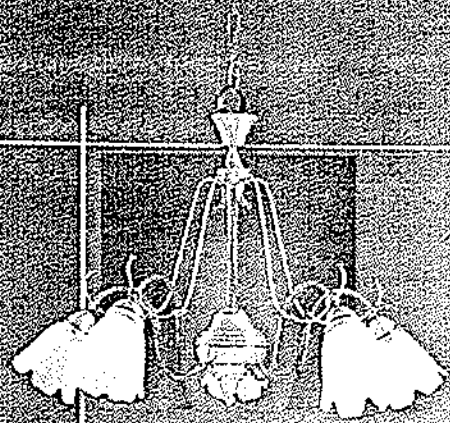
SHOWROOM

Paraguay 792, 3° piso • Buenos Aires - Argentina

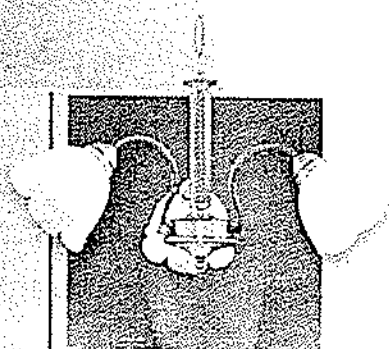
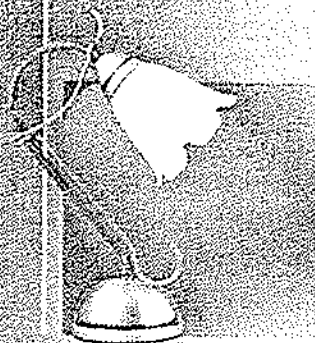
Tel: 4312-4871/2524 • Fax: 4312-4700 • e-mail: artemide@elsitio.net

Artemide
THE HUMAN LIGHT.

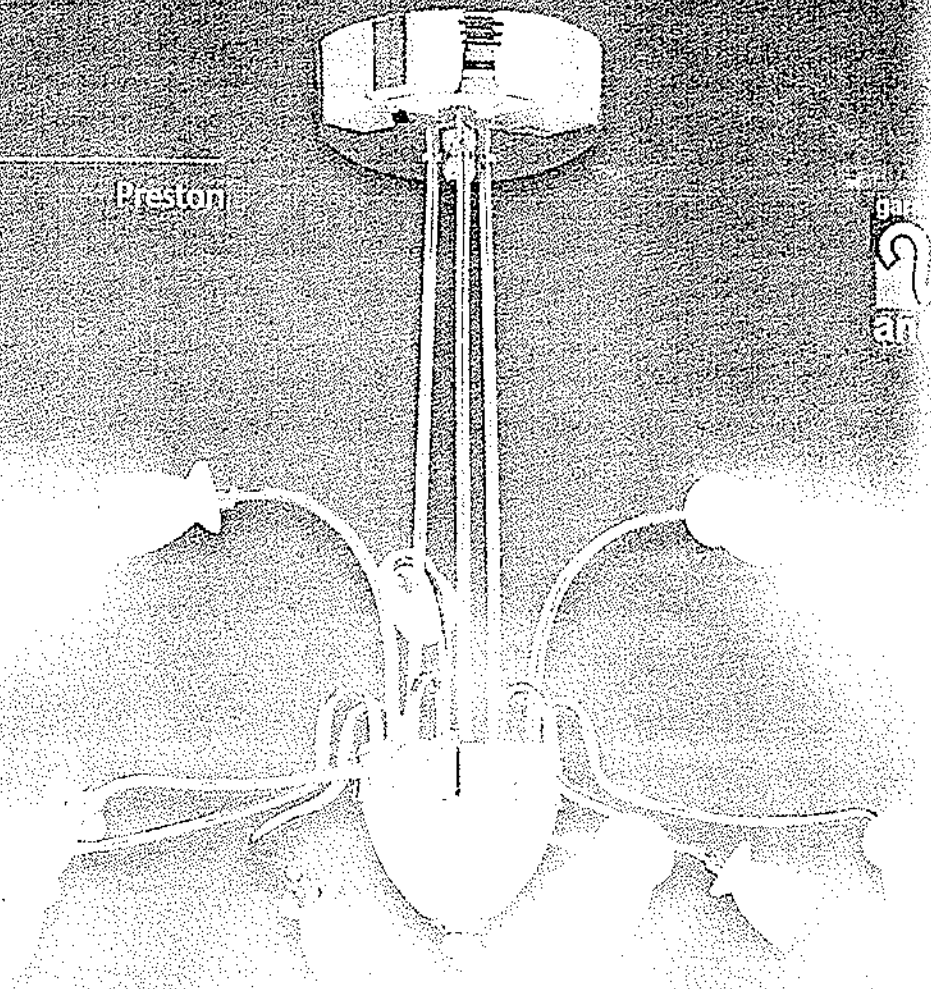
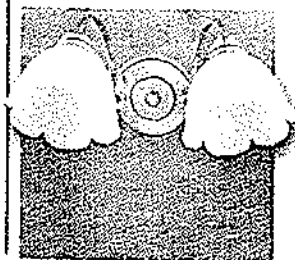
BUENOS AIRES • MILANO • NEW YORK • LONDON • PARIS • DÜSSELDORF • BARCELONA • LISBOA • BRUSSELLES • WIEN • BASEL • ATHENS • MONTREAL • TOKYO • SHANGAI • HONG KONG



Preston

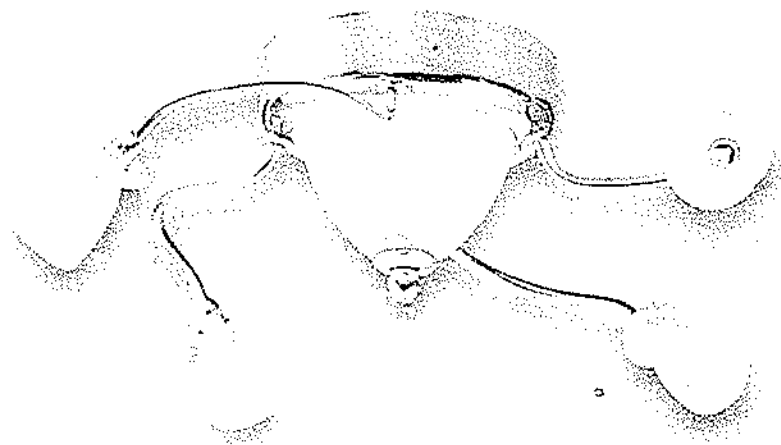


Toledo

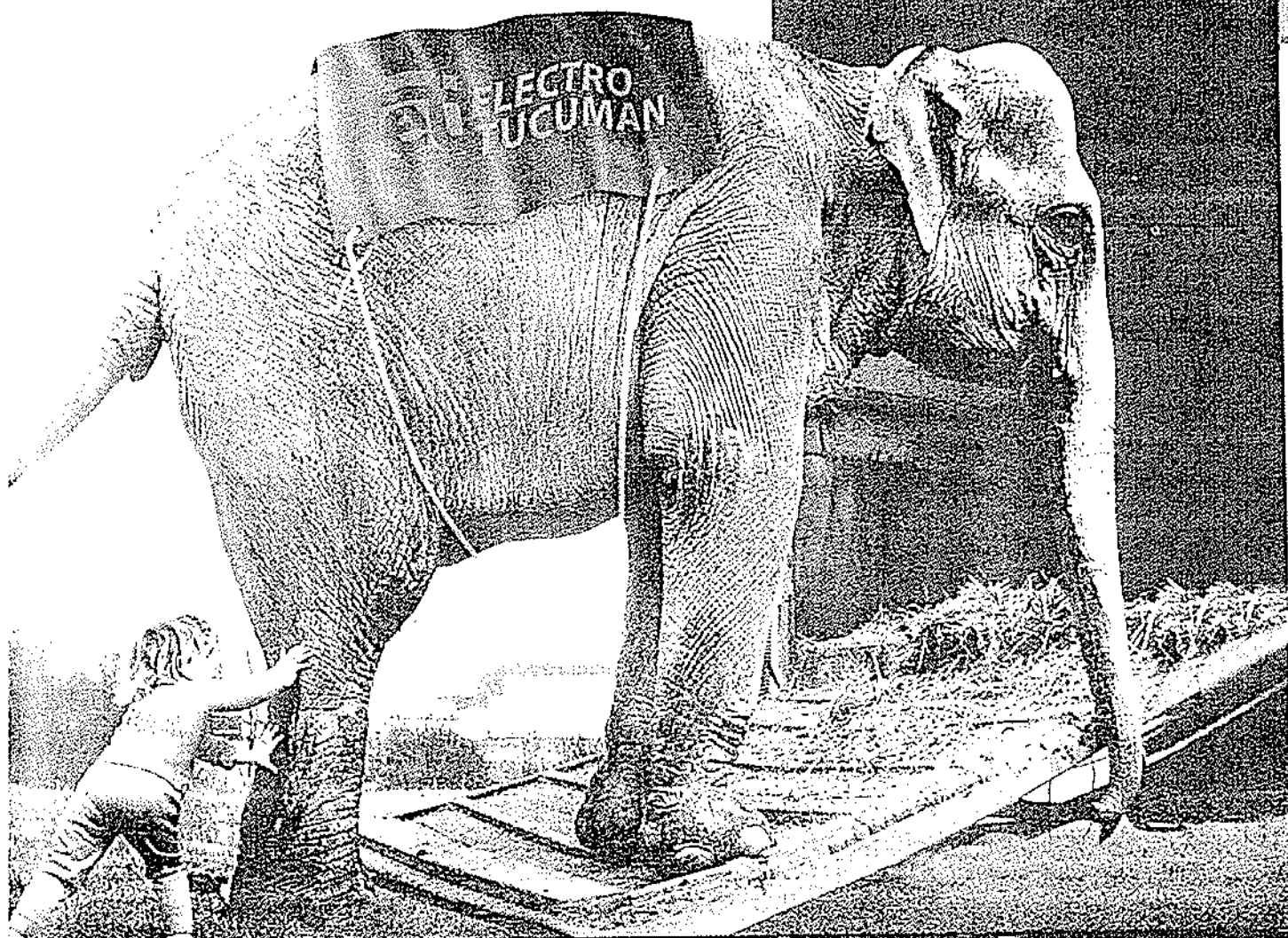


Boreal

Beyma 



CASTELLANO & ASSOC



La fe puede mover montañas



Sarmiento 1342 C1041 ABB Ciudad Autónoma de Bs.As. - ARGENTINA

Tel: (54-11) 4371-6288 Líneas Rotativas Fax: (54-11) 4371-0260

Exposición Sarmiento 1345 C1041 ABA Ciudad Autónoma de Bs.As.

Tel: (54-11) 4374-6504/1383 4371-9518 Fax: (54-11) 4371-6123

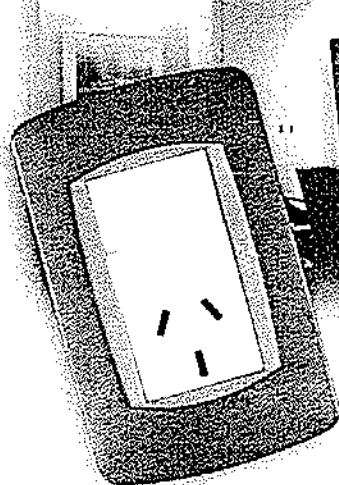
electro@electrotucuman.com.ar - eventos@electrotucuman.com.ar

edrotec@electrotucuman.com.ar - www.electrotucuman.com.ar

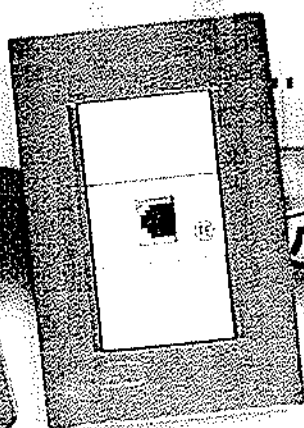
ESTACIONAMIENTO PROPIO: SARMIENTO 1355

Un toque de Distinción.

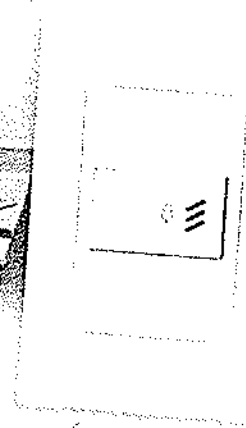
La luz que le da un toque de distinción.



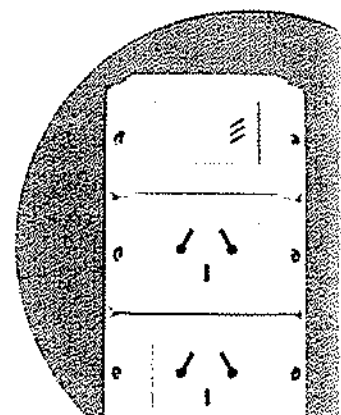
Vetla 2001



Vetla Plus



Vetla



Vetla Linea de SUPERFICIE

Variada paleta de colores. Múltiples opciones en módulos.

e-mail: cioccaplast@ciudad.com.ar www.cioccaplast.com.ar

IOCCA
INDUSTRIA DE PRODUCTOS ELECTRICOS

DOMINICA DE OLIVIO

NUESTRA NUEVA
LINEA DE ARTEFACTOS
DECORATIVOS
LE VAN A PRODUCIR UNA
EXCELENTE SENSACION...

O ACASO A USTED NO
LE ENCANTA VER SU
NEGOCIO LLENO
DE CLIENTES.

LLAMENOS AL:
(54-11) 4552-6686 • 4555-0507

E-mail: artekrom@hotmail.com

ARTEKROM



LUZ A SUS NEGOCIOS

FABRICACION Y COMERCIALIZACION
DE ARTEFACTOS PARA ILUMINACION

COMAR

ILUMINACION INTERIOR

ILUMINACION RESIDENCIAL

11

CAPITULO

Autor:
Sr. Carlos Lazlo

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

No

INTRODUCCION

La iluminación hace la diferencia

El hogar constituye el refugio y abrigo del ser humano. En él transcurren las vidas de los integrantes de una familia, con sus alegrías y tristezas, con sus éxitos y sus frustraciones; se lo puede comparar con un gran escenario en el cual cada quién vive su historia.

Y tal como en una obra de teatro, donde cada escena recrea un clima acorde a la situación, de la misma forma en el hogar será importante crear un clima de confort especial para cada una de las múltiples y muy variadas actividades que en él se llevan a cabo diariamente.

Una de las herramientas fundamentales e ideales para crear el clima apropiado para cada momento lo constituye sin ninguna duda la luz. Una iluminación bien planificada y ejecutada proporcionará siempre una sensación de placer y bienestar en cada una de las actividades cotidianas.

La iluminación hace la diferencia. Desde la simple tarea de enhebrar una aguja sin dificultades hasta el placer de una buena lectura sin forzar la vista dependen de una correcta iluminación. La luz proporciona belleza y drama a un recinto; puede transformar una habitación pequeña en un sitio espacioso y aireado como también convertir un local de grandes dimensiones en un lugar íntimo y acogedor. Puede crear una atmósfera estimulante para una noche de entretenimiento o una suave sensación de paz y relax luego de una jornada agitada.

La iluminación de una residencia debe ser planificada para complementar el estilo de vida de sus moradores. El luminotécnico deberá asesorarse sobre que actividades, fuera de las habituales de un hogar se realizan en esa casa. Y aún dentro de las habituales, que recaudos especiales deberá tomar (*edad de sus ocupantes, algún tipo de discapacidad, etc*)

El especialista deberá tener presente en todo momento que estará iluminando la residencia de su cliente y no la propia. Nunca deberá tratar de imponer un gusto personal sino tratar de interpretar el deseo de los moradores de la casa y tratar de hacerlos técnicamente realizables.

Por último, el propietario de la vivienda deberá pensar en que la iluminación de una residencia es una inversión costosa y como tal, tratar de que se realice correctamente la primera vez; siempre es difícil mejorar un proyecto mal realizado, especialmente porque la instalación eléctrica será inamovible.

Existen tantas formas de planificar la iluminación de una residencia como luminotécnicos hay; sin embargo, una manera práctica de organizar la tarea es en base a las siguientes tres premisas:

- Que iluminar
- Como iluminar
- Con que iluminar

I QUE ILUMINAR

Al decidir o planificar "que iluminar" en el alumbrado residencial, a menudo suele resultar práctico pensar en la iluminación como una sucesión de "layers" o capas de diferentes características que conforman ese todo que constituye la ambientación luminica de una vivienda.

Esos layers podrán ser utilizados todos juntos o superpuestos, individualmente o combinados, dependiendo cada una de estas alternativas del clima que se desee lograr en cada caso.

Estas "capas" de iluminación son básicamente tres y cada una de ellas cumple una función específica, a saber:

- La iluminación general
- La iluminación de trabajo
- La iluminación de destaque

Esta forma de subdividir la iluminación de una vivienda no solamente resulta de ayuda al luminotécnico para conformar su proyecto, sino también al propietario quien generalmente no tiene muy claro como quisiera que sea la iluminación de su casa.

1.1.0. La iluminación general

La iluminación general de una habitación se asemeja de alguna manera al trabajo de un pintor, quien al comenzar su obra primero imprime a su tela una base, un color y una textura sobre los cuales lentamente comenzará a crear los diversos detalles que conformarán su mensaje, aquello que quiere transmitir.

De la misma forma, el luminotécnico debe crear una base, una primera capa de luz que servirá luego para ir modelando el espacio con los siguientes layers.

Esta primera base de luz deberá ser lo más uniforme posible y de no demasiado nivel de iluminación. 100 a 150 lux serán suficientes para permitir un cómodo desplazamiento dentro de la habitación y la circulación a las habitaciones contiguas.

Deberá ser difusa y envolvente y no producir sombras duras sobre las paredes u otras ocasionadas por los elementos propios de la decoración del local.

Algunos sistemas o fuentes de luz idóneos para este propósito son las luminarias equipadas con lámparas opalinas o con difusores de vidrio esmerilado para «ablandar» la emisión de la luz con el propósito de evitar dichas sombras. Otra posibilidad la constituye la iluminación indirecta proveniente en general de gargantas, lámparas de pie o apliques de pared. El cielorraso blanco actuará como una gran pantalla reflectante y difusora proporcionando esa primera capa de luz.

1.2.0. La iluminación de trabajo

Es el layer destinado a proveer la iluminación específica y necesaria para realizar aquellas tareas del hogar que requieran cierta precisión (*leer, escribir, coser, manualidades en general, juegos de mesa, etc.*).

En general, cada una de estas actividades tiene asignado un valor de iluminancia en las tablas de niveles recomendados por las normas. Es conveniente respetar estas recomendaciones a los efectos de evitar esfuerzos visuales inútiles derivados habitualmente en dolores de cabeza y también físicos, a partir de posturas corporales adoptadas inconcientemente tratando de ver mejor.

Este layer del sistema de iluminación puede ser utilizado independiente del resto o combinado con otro. Es aconsejable utilizarlo junto con la iluminación general para evitar de esta manera contrastes de luminancia demasiado bruscos entre el plano de trabajo y el entorno inmediato.

1.3.0. Iluminación de destaque

La iluminación de destaque o de acento es el último de los layers del sistema y es el que tiene la responsabilidad de crear el clima, el toque artístico dentro del diseño lumínico.

Su misión es fundamentalmente la de crear un centro de atracción dentro de una habitación. Este centro de atracción deberá ser único; deberá ser el primer elemento al cual se desea que dirija la vista el visitante y alrededor del cual se irá construyendo la decoración de la habitación en un orden de prioridades establecido, como si el invitado estuviera presenciando una proyección de diapositivas seleccionadas por el anfitrión.

La acentuación de elementos deberá ser selectiva y permitir una tranquila recorrida por todos ellos a partir del centro de atracción. Muchos elementos destacados con la misma intensidad y efectos similares producirán una escena caótica y carente de sentido estético y cuyo resultado será el fracaso total.

Como norma general, será conveniente evitar los elementos centrales, luminarias ubicadas en el mismo centro de la habitación, normalmente colgantes, que generan una abúlica simetría al cuarto.

Este tipo de iluminación es la antítesis del efecto «centro de atención», ya que se convierte en un protagonista sin ningún atractivo que ilumina por igual los cuatro laterales de la habitación produciendo una imagen chata y sin contrastes.

Una excepción a la regla la constituye el caso del comedor, donde la mesa central de por sí se ubica como el centro de atracción.

2 COMO ILUMINAR

Una vez analizados cada uno de los espacios y decidido que iluminar en cada uno de ellos, es el momento de decidir cual es la mejor forma de hacerlo.

En esta instancia, será importante analizar algunos aspectos técnicos necesarios para no cometer errores difíciles de corregir luego. Estos aspectos son:

- ❑ El nivel de iluminación
- ❑ El deslumbramiento
- ❑ El color de la luz
- ❑ El rendimiento de color
- ❑ El confort visual

2.1.0. El nivel de iluminación o iluminancia

El nivel de iluminación necesario para una buena visión depende de tres factores fundamentales:

- ❑ La edad de los ocupantes
- ❑ La velocidad y precisión en las tareas
- ❑ La reflectancia del plano de trabajo

La luz necesaria para una correcta percepción varía con la edad y no es igual para todas las personas.

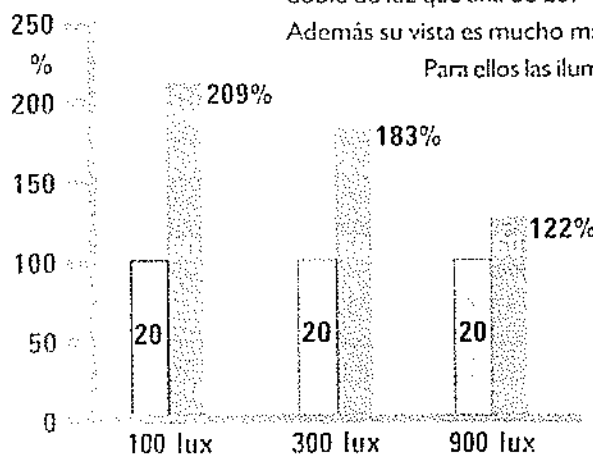
Desde el nacimiento y durante el período de crecimiento, el ser humano requiere de 4 a 5 veces más luz que un adulto. Esta necesidad reaparece con el paso de los años. Las personas mayores requieren mucha más luz. En efecto, una persona de 60 años necesita al menos el doble de luz que una de 20.

Además su vista es mucho más sensible a las altas luminancias.

Para ellos las iluminancias deberán ser altas pero las luminarias bien apantalladas o de baja luminancia.

Algunos niveles de iluminación recomendados para tareas generales * :

Iluminancias en función de las edades



*Estos niveles son los mínimos sugeridos para personas de entre 20 y 35 años.
 ** Iluminancias obtenidas con el aporte de iluminación localizada (lámparas de pie, de mesa, etc).

Nota: los niveles recomendados para tareas específicas serán analizados para cada dependencia en particular

2.2.0. El deslumbramiento

Existen diversos tipos de deslumbramiento a saber:

- Deslumbramiento fisiológico
- Deslumbramiento psicológico
- Deslumbramiento o luminancia de velo

El deslumbramiento fisiológico es aquel ocasionado por una fuente de luz que hiere directamente la retina. El ejemplo más claro sería el de una linterna enfocada directamente a la vista. La solución será modificar la orientación de la fuente para quitarla de la dirección de visión obligada.

El deslumbramiento psicológico implica que existe alguna luminaria o fuente de luz que, encontrándose dentro del campo visual de la persona posee la luminancia suficiente como para producir una molestia al cabo de algún tiempo.

Se soluciona apantallando la luminaria o modificando ligeramente su orientación.

La luminancia de velo es aquella que deriva de la mala ubicación de las fuentes de luz con respecto al plano de trabajo produciendo un intenso brillo sobre la superficie de lectura que vela parcial o totalmente el texto haciéndolo prácticamente ilegible. Se deberá modificar la posición de las luminarias. La iluminación debe provenir de los laterales y nunca de arriba.

2.3.0. El color de la luz

El color aparente con que emite su luz una fuente se denomina "temperatura de color" y se mide en grados Kelvin. Es el indicador de la tendencia cromática de una fuente.

En el alumbrado residencial, el color de luz que se utilice tiene una importancia fundamental, ya que será el gran protagonista del "clima" que se logre en el ambiente iluminado.

Así un trozo de carne se verá realmente fresco bajo una lámpara incandescente y de color marrón oscuro bajo un tubo luz de día. Esto es debido a que una lámpara incandescente, con una temperatura de color de 2700 K emitirá una luz cálida, con gran contenido de rojo, mientras que una de 6500 K lo hará con luz fría, con predominante contenido de azul (tubo fluorescente luz de día). Cuanto menor sea la temperatura de color más cálida será la fuente.

Temperatura de color de algunas fuentes:

En términos de color, en la iluminación residencial interior la luz fría tiene poca cabida; tal vez para iluminar alguna vitrina con platería y porcelana, ya que la luz fría da mayor brillo a la plata y los cromados y más blancura a las losas blancas. La iluminación del hogar será siempre cálida por excelencia.

Iluminación general	2700 K
Iluminación de tareas	3000 K
Iluminación de acentuación	3000 K

2.4.0. El rendimiento de color

IRC de algunas fuentes (Ra):

El rendimiento de color o (IRC) Índice de Rendimiento de Color indica con que grado de precisión una determinada fuente de luz permitirá reproducir un color. Esta propiedad de las lámparas está determinada por su composición espectral, para cuya clasificación se ha instituido como patrón a la lámpara incandescente, la cual se dice que tiene un Ra de 100. En la iluminación del hogar el Ra de las fuentes de luz deberá estar en valores de 80 a 100, salvo en dependencias secundarias en las cuales la discriminación cromática tiene poca importancia. (cocheras, desvanes, etc. o en el alumbrado exterior).

2.5.0. El confort Visual

Este aspecto se ha dejado de expreso para el final, ya que en el se conjugan todos los elementos mencionados hasta el momento más algunos otros que se verán a continuación. El confort visual o VCP, iniciales de la denominación inglesa "Visual Comfort Probability" (*Expectativas de Confort Visual*) es, como su definición lo indica, el grado de confort visual al que aspiran los ocupantes de un recinto medido en porcentaje y cuyo valor máximo es obviamente 100.

Si bien a primera vista se dirá que una residencia deberá tener un VCP de 100, esto no siempre es accesible, ya que lograrlo implica a menudo un costo considerable.

Un elemento de importantísima gravitación en lo que hace al confort visual es el correcto equilibrio de los contrastes y las luminancias.

Una de las reglas de oro de la luminotecnica establece que la relación de luminancias entre el plano inmediato (*tarea*) y el mediato (*infinito*) no deberá ser superior a 10:1. En este contexto, «infinito» puede ser considerado como cualquier distancia superior a los cinco metros.

Hace ya tiempo se ha establecido que cuando los ojos se encuentran enfocados sobre una tarea visual, estos necesitan elevarse y enfocar al infinito con el propósito de descansar sus músculos. Este ejercicio se realiza cada 5 a 7 minutos.

Frente a este panorama, es fácil comprender que, si las luminancias no guardan al menos la relación establecida por las recomendaciones, la pupila deberá realizar un agotador trabajo de adaptación de altas a bajas luminancias y viceversa entre 10 y 12 veces por minuto.

En este punto será importante hacer algunas consideraciones acerca de reflectancias, texturas y colores. Es sabido que lo que el ojo ve es lo que el objeto refleja y no la luz propiamente dicha. Por lo tanto al proyectar la iluminación de una habitación se deberán tener muy en cuenta las características propias de las superficies.

Las superficies son claras u oscuras?

Las superficies oscuras absorben más la luz, reflejan menos.

La reflexión producida por las paredes y el mobiliario cumple un rol muy importante en el nivel general de iluminación así como también en el «clima» general.

Esta reflexión se mide en porciento y cada color y tono tiene su propio porcentaje de poder reflectivo.

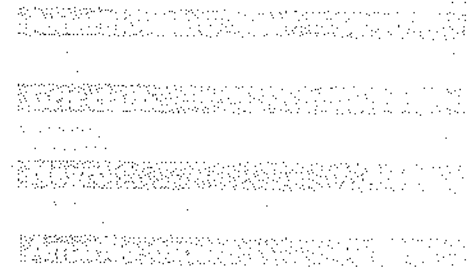
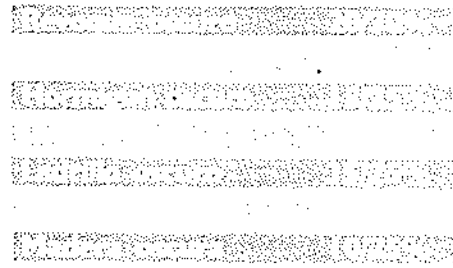
Las superficies son brillantes o mate?

Las superficies brillantes reflejan en forma especular, mientras que las mate lo hacen de manera difusa. Habrá que analizar cuidadosamente la ubicación de las fuentes de luz cuando en la decoración del ambiente haya elementos brillantes o espejados a los efectos de evitar el deslumbramiento o el desagradable reflejo de dichas fuentes en una superficie.



Poder reflectante de algunas texturas:

Poder reflectante de algunos colores:



■ Se desea destacar los colores del objeto o tal vez modificarlos?

El color de un objeto estará determinado por la composición espectral de la fuente de luz. Como se ha dicho anteriormente, un objeto rojo se destacará más cuanto mayor sea el contenido de rojo de la fuente. Si la fuente en cuestión contiene muy poco rojo y mucho azul, por ejemplo, el objeto de color rojo se verá como de color marrón oscuro. En contraposición, con la composición espectral de esta última lámpara, un objeto de color azul se verá espléndido. También se dijo anteriormente que en la iluminación residencial las temperaturas de color cálidas serán en general preferentes. Esto último tiene sus excepciones como toda regla.

Es sabido que la máxima sensibilidad del ojo humano se encuentra en la longitud de onda de los 555 nm, es decir en el color amarillo verdoso. No obstante, y debido a un fenómeno llamado "efecto Purkinje", frente a bajas iluminancias, por ejemplo en el ocaso, esta máxima sensibilidad del ojo se desplaza 48 nm hacia las longitudes de onda más bajas, es decir, hacia el verde azulado.

En el alumbrado residencial, donde a menudo se utiliza el «dimming» o atenuación de los niveles de iluminación, este fenómeno cobra un significado especial, ya que en una habitación iluminada muy tenuemente se percibirán mejor los colores fríos (azul y violeta) que los cálidos (naranja y rojo) y el recinto se verá más claro iluminado con una luz amarillenta.

Resumiendo: una perfecta visión de los colores y pequeños detalles requiere de elevados niveles de iluminación producidos por fuentes dotadas de un espectro continuo, es decir, que contenga todos los colores o longitudes de onda del espectro visible.

3 CON QUE ILUMINAR

Una vez que se haya decidido que iluminar y como iluminar, será el momento de decidir con que iluminar.

Se deberá elegir el tipo de lámpara, el tipo de luminaria y el sistema de control, si es que se optará por uno. Es recomendable que la elección de estos elementos se realice en el orden enunciado.

3.1.0. Elección de la lámpara

Actualmente se cuenta con un extenso rango de opciones en materia de lámparas: las tradicionales incandescentes, las incandescentes halógenas, las de bajo voltaje, las fluorescentes compactas y las fluorescentes convencionales, y cada una de ellas en una amplia gama de tipos y potencias.

Al tomar la decisión sobre la lámpara a utilizar, se deberá hacer un análisis de la situación particular para la cual será seleccionada y tener en cuenta los siguientes elementos:

- Tipo de distribución luminosa deseada
- Consumo de energía
- Rendimiento de color
- Temperatura de color

En términos generales, el tipo de distribución luminosa no depende solamente de la lámpara sino también de la luminaria que la contiene, ya que ésta "modela" el flujo luminoso de la fuente de diversas formas según cada necesidad.

Sin embargo, en el caso de la iluminación de destaque, (*haz concentrado*) es posible utilizar fuentes que tienen ya su ángulo de apertura de haz definido en sí mismas. Tal el caso de las lámparas incandescentes tipo PAR, las halógenas dicróicas y las de espejo metálico.

En el caso de distribución luminosa abierta, sin duda la fuente ideal es la fluorescente. Si bien en iluminación residencial el tubo fluorescente convencional tiene una aplicación limitada, si en cambio goza de mayor popularidad la versión compacta.

El consumo energético reviste una enorme importancia en estos tiempos. En este sentido, las lámparas fluorescentes compactas son sin duda las más indicadas. Lamentablemente en el aspecto decorativo de la iluminación hogareña, más precisamente en la iluminación de acento o destaque, las lámparas halógenas de bajo voltaje son irremplazables por su capacidad para lograr haces muy definidos y efectos de luz muy especiales.

Tanto en rendimiento de color como en temperatura de color, toda la gama de fuentes mencionada es perfectamente apta para la iluminación residencial.

Las lámparas fluorescentes compactas cuentan con 4 temperaturas de color que cubren la más amplia gama de necesidades, mientras que las halógenas, en todas sus versiones, agregan el toque decorativo con su color blanco intenso de 3100 K.

3.2.0. Elección de la luminaria

La elección de la luminaria implica algunas consideraciones:

- El tipo de distribución luminosa
- La función que cumplirá dicha luminaria
- El sistema de montaje (*embutido, de pared, suspendida, etc.*)
- La apariencia, el estilo y el costo.

Todos estos elementos deberán ser tenidos en cuenta y discutidos profundamente con el propietario de la vivienda, ya que tal como se dijo en la introducción, será él quien habite la casa y las luminarias tienen un importante "peso" en el aspecto decorativo.

También lo tienen en el aspecto económico, razón de sobra para que el luminotécnico proponga diversas variantes antes de especificar marcas y modelos.

Los sistemas de iluminación para el hogar son variados y dependen en gran medida del estilo arquitectónico, del tipo de construcción, etc. Un ambiente con cielorraso suspendido es muy fácilmente iluminable con spots embutidos. Estos spots pueden cubrir prácticamente los tres tipos de iluminación: la general, utilizando fuentes de luz "blanda" como las lámparas incandescentes opalinas o fluorescentes compactas, la de trabajo, con lámparas más concentradoras y por supuesto la de destaque con fuentes puntuales.

Permiten realizar un "wall washing" o "bañado de una pared" o un "scalloping" o "festoneado" sobre una superficie vertical (*efecto de elipses que se obtiene con una sucesión de spots en línea ubicados cerca de la superficie*). Estos recursos son muy utilizados no solo como elemento decorativo sino también para mejorar en algunos casos la relación de contrastes.

Todos estos efectos podrán ser logrados con la ventaja adicional de que la luminaria se encuentra escondida o muy poco visible. Esto constituye otra de las reglas de oro de la luminotecnia: ...se ve el elemento iluminado pero no la luminaria; el elemento iluminante no es protagonista.

Otro sistema "oculto" muy difundido en la iluminación residencial es el de las gargantas de luz. Esta manera de iluminar en forma indirecta un ambiente se realiza generalmente con tubos fluorescentes colocados uno a continuación de otro y ligeramente superpuestos para evitar las sombras que se producirían entre los extremos de los tubos. Es un recurso válido para proveer al local de una iluminación general, pero es aconsejable combinarlo con algún «toque» de iluminación directa, ya que la reflejada, utilizada como sistema único produce una sensación de monotonía a partir de la falta de sombras y contrastes, característica principal de la iluminación difusa por reflexión.

Cuando la luminaria se convierte en protagonista es cuando el aspecto estético ocupa un primer plano; y no solo el estético sino también el económico. Es obvio que un artefacto de iluminación que se encuentra expuesto se convierte automáticamente en un elemento más de la decoración del ambiente razón por la cual debe ser agradable a la vista, de muy buena construcción y lúmicamente eficiente, por supuesto.

Dentro de la categoría de luminarias "no embutidas" se encuentran los sistemas de iluminación por rieles electrificados. Esta modalidad ha tenido mucha aceptación y difusión debido a la gran flexibilidad que permite. Con el riel se ha podido dar solución a aquellos casos en que es necesario iluminar una habitación en la cual la instalación eléctrica y es existente, un ejemplo de ello son las viviendas en las que, a falta de un proyecto de iluminación previo, se ha optado por prever solamente bocas de luz en las paredes. El sistema de rieles puede ser utilizado tanto en tensión normal de 220 V como en baja tensión de 12 V.

3.3.0. Elección del sistema de control

Al mencionar al sistema de control se hace alusión a los variadores de flujo luminoso o "dimmers": Estos elementos cumplen la función de "modificar" el nivel de iluminación pudiendo variarlo entre máximo y mínimo a voluntad o bien apagar todo el sistema. Estos accesorios van desde el económico variador de embutir en la caja del interruptor o llave de luz convencional hasta el más sofisticado sistema programable comandado por señal infrarroja.

Esto que parece un suntuario no lo es tanto. Actualmente existen pequeñas centrales de costo accesible, que permite programar una serie de escenas, las cuales quedan memorizadas en el sistema y se activan simplemente pulsando un botón. Obviamente, los comandados por control remoto no son tan económicos.

Estos dimmers, o al menos los relativamente económicos, son los que accionan "exclusivamente" lámparas incandescentes, ya que para dimerizar lámparas fluorescentes se requiere elementos adicionales que tienen un costo mucho más elevado.

Como quiera que sea, estos sistemas de atenuación tienen sus ventajas y desventajas. Es sabido que la vida útil de una lámpara incandescente es corta y es sumamente sensible a la tensión de aplicación. Con un 5% de sobretensión la lámpara vivirá la mitad de lo previsto (500 horas) mientras que con un 5% de subtenión, la vida de la fuente se extiende al doble. Este es el aspecto positivo del uso de dimmers. El aspecto negativo o al menos a tener en cuenta, radica en que a medida que se atenúa el nivel de iluminación la luz de la lámpara se torna cada vez más rojiza, lo cual distorcionará los colores de manera sensible.

Este efecto es sumamente desagradable especialmente en las lámparas dicroicas, en las cuales precisamente su intenso brillo y luz excepcionalmente blanca son su principal atractivo. El otro aspecto a tener en cuenta es el referido a la distorsión de los colores causada en nuestro propio sistema óptico por el desplazamiento de la curva de sensibilidad del ojo en presencia de bajas iluminancias.

4 DEPENDENCIAS DE LA VIVIENDA

Cada una de las distintas dependencias de una residencia presenta características propias de su destino dentro de la vivienda y en consecuencia requiere de soluciones lumínicas acordes a su función.

A diferencia de lo que ocurre en la iluminación de oficinas, en el alumbrado residencial no existen normas o exigencias rigurosas que cumplimentar, pero si se deberán respetar algunas reglas básicas tendientes a lograr un óptimo confort visual y una ambientación lo más grata posible. En las páginas que siguen se analizarán brevemente las necesidades mínimas de cada ambiente y sus posibles soluciones: niveles de iluminación, fuentes y luminarias sugeridas, datos particulares, etc.

4.1.0. El living room

Es la habitación más representativa del hogar; es donde la familia y sus invitados se reúnen, conversan, miran televisión, practican juegos de mesa o escuchan música. Por todo ello y al cumplir con tan variadas funciones, la iluminación de esta dependencia deberá ser lo suficientemente flexible como para poder satisfacer una gran variedad de requerimientos visuales simultáneamente.

Es importante tener en cuenta que, si bien se debe seguir un criterio de iluminación adecuado para cada tipo de actividad, el resultado final del conjunto deberá ser coherente y confortable. Un nivel general de iluminación de entre 100 y 150 lux será suficiente para desplazarse dentro de los distintos sectores de la habitación y para la transición con las dependencias contiguas. En esta iluminación general influirá notablemente la claridad de las superficies (*paredes, cielorraso, piso*) así como la del mobiliario.

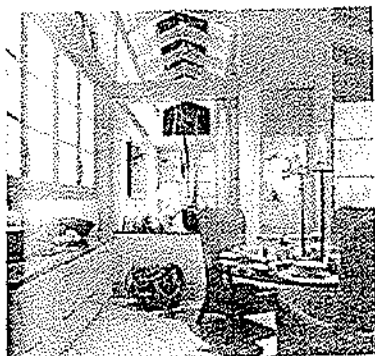
Esta primer "base" de iluminación podrá estar dada por spots embutidos de distribución muy abierta si el cielorraso es suspendido o bien por apliques de pared con lámparas halógenas. Pero como se dijo al comienzo, en esta dependencia de la casa se realizan diversas actividades y cada una de ellas deberá disponer de un sistema de iluminación apropiado.

4.1.1 El hogar o chimenea abierta

Es muy habitual encontrar en un living una chimenea generalmente construida o revestida en piedra. Esa es una situación ideal para crear un clima especial dentro de la habitación. Algunos spots embutidos o montados sobre riel ubicados sobre la misma, producirán un efecto de luz rasante sobre la piedra creando un clima dramático. Un par de apliques de pared en cada costado del hogar completarán la ambientación de este espacio ideal para la reunión familiar. Iluminancia sugerida sobre la superficie vertical: 100 a 200 lux.

4.1.2. El lugar de lectura

Siempre existe en un living un lugar preferido para la lectura. Generalmente será un cómodo sillón o un sofá. Como ya se dijo anteriormente, el nivel de iluminación para la lectura deberá contemplar la edad de las personas; una iluminancia de 500 lux será suficiente para la gran mayoría de los casos.



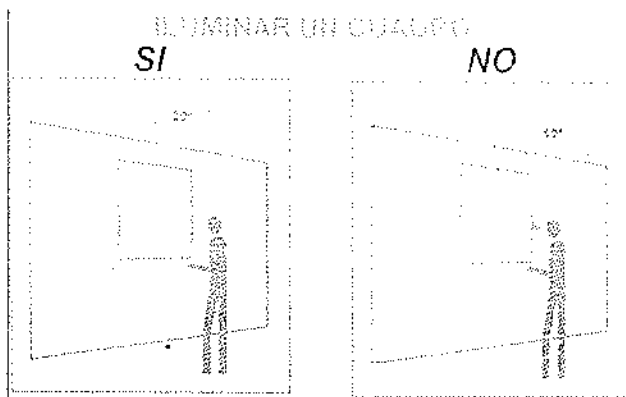
Las fuentes de luz más indicadas serán una lámpara de mesa o de pie, ubicada por detrás del hombro del lector. Si la luminaria dispone de un dimmer, cosa bastante habitual en artefactos modernos, tanto mejor; ciertas superficies demasiado brillantes producen reflejos indeseados aplacables con menor nivel.

4.1.3. Una mesa de juego

El lugar destinado al esparcimiento; juegos de naipes, ajedrez o damas son siempre una buena propuesta entre amigos. Este tipo de actividad requiere un buen nivel de iluminación, por el tipo de actividad y para propiciar un clima dinámico. Nuevamente 500 lux sobre la mesa será lo más apropiado.

Lo ideal es un pequeño colgante sobre la mesa regulable en altura equipado con una lámpara dicróica de haz bien abierto (*Ejemplo: 45°*). Es cierto que esta opción condiciona la ubicación de la mesa haciéndola inamovible. Otra posibilidad más elástica la constituye una lámpara de pie de enfoque regulable colocada al costado de la mesa.

4.1.4. La iluminación de destaque



En un living existen innumerables situaciones y elementos que justifican una iluminación de realce o destaque. Se verán aquí algunas de las más comunes.

El elemento por excelencia a destacar es sin duda un cuadro. Un cuadro podrá ser iluminado desde el cielorraso por medio de spots embutidos orientables o montados sobre riel. Las fuentes de luz podrán ser dicróicas, lámparas PAR o también fluorescentes compactas si se desea hacer un «washing» de todo un sector de pared mediante un espejo asimétrico. En el caso de iluminación puntual, se deberá calcular cuidadosamente el ángulo de apertura necesario para cubrir la obra.

También será sumamente importante definir la distancia de la luminaria a la pared; si está muy cerca la iluminación será demasiado rasante, destacando irregularidades de la pared y restando iluminación al cuadro; si en cambio se encuentra demasiado lejos, el observador proyectará su sombra sobre el objeto. El montaje correcto será dentro de un ángulo aproximado de 30° con respecto a la vertical, lo que significa, para una habitación de una altura convencional de 2,60 m una distancia a la pared de 0,55 m. El nivel de iluminación sugerido es de 150 a 200 lux mínimo para lograr el destaque.

No obstante, tratándose de algún original en acuarela es aconsejable no superar los 150 lux para preservar la obra. (*En caso de tapices no es conveniente superar los 50 lux!*).

El mismo tratamiento podrán recibir objetos de arte, arreglos florales, etc. Un living también se presta para realizar washing de paredes y cortinas o scalloping sobre superficies verticales.

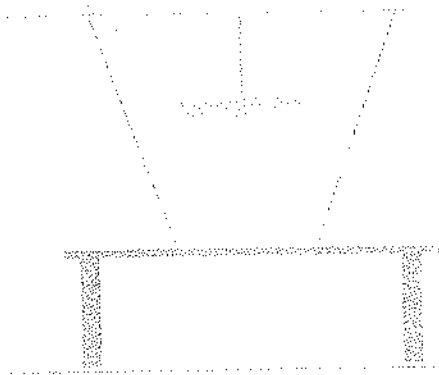
4.2.0. El comedor

Tal vez la dependencia más sobria y elegante de la casa. En ella los anfitriones reciben a sus invitados con sus mejores galas frente a una mesa bien servida.

En el comedor la ambientación debe ser la más cuidada de la casa. La luz debe ser cálida y la reproducción cromática óptima. Los alimentos deben lucir el más real de los colores y aún más. Un «chandelier» o colgante central es casi irremplazable. Es de alguna manera el elemento que jerarquiza al ambiente y con él a la residencia.

Si la luminaria contiene caires de cristal o vidrio, es recomendable utilizar lámparas transparentes a los efectos de producir delicados brillos en los adornos. No obstante se deberá evitar el deslumbramiento, razón por la cual es aconsejable que el chandelier disponga de un dimmer para controlar los brillos.

ILUMINACIÓN DE REFUERZO



En ocasiones es interesante instalar un par de spots embutidos orientables, uno a cada lado del colgante para proveer el verdadero nivel de iluminación sobre la mesa, dejando para el chandelier la función decorativa. Este deberá estar suspendido sobre la mesa entre 0,70 y 0,90 m.

La iluminancia sobre la mesa deberá estar entre los 100 y 200 lux y como ya se dijo muy uniforme y regulable.

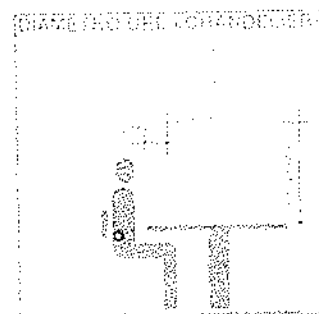
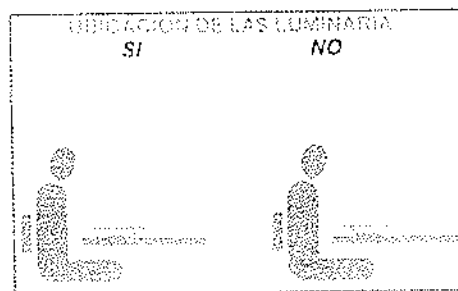
Para completar la iluminación general y brindar mayor amplitud al ambiente, será bueno disponer un par de apliques de pared tratando de acompañar al diseño del elemento central. Estos apliques deberán instalarse lo suficientemente elevados (~ 1,80 m) como para que no estén a la altura de la vista de la persona sentada.

Un elemento infaltable en un comedor lo constituye la tradicional vitrina con su frente de vidrio y su contenido de cristalería. Dos pequeños spots embutidos en el techo del mueble y equipados con sendas lámparas minidicroicas de 20W cada uno, otorgarán a los cristales un espectacular brillo.

Por supuesto que también en el comedor se impone la iluminación de efecto; seguramente habrá algún cuadro que destacar o algún cortinado para un washing.

Lo que el luminotécnico no deberá olvidar en ningún momento es que las personas allí reunidas lo estarán por periodos prolongados y viéndose los rostros todo el tiempo. Algunos detalles que tendrá que tener muy en cuenta son:

- 1) Nunca iluminar con fuentes concentradas (dicroicas, etc) en forma cenital a los comensales; este tipo de luz desfigura las facciones y acentúa las arrugas de la piel.
- 2) Si se va a iluminar alguna pared o el cielorraso hacerlo solo si estos son blancos o de tonos pastel muy suaves; recordar que la superficie iluminada reflejará su propio color y si esta es verde, el cutis de las personas adoptará un tinte verdoso.
- 3) El diámetro del chandelier será proporcional al tamaño de la mesa y de la habitación. Como una regla práctica, considerar como diámetro máximo 0,30 m menos que el ancho de la mesa.
- 4) El aparador o pantry deberá coincidir con alguno de los sectores perimetrales iluminados, por ejemplo la pared que contiene los apliques, a los efectos de no proyectar la sombra del cuerpo al aproximarse.





4.3.0. La cocina

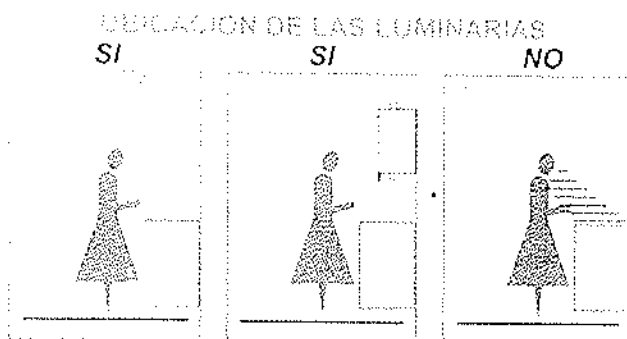
La cocina es fundamentalmente un área de trabajo destinada a la preparación de alimentos. No obstante en muchos casos, por no decir habitualmente, se la utiliza para otras actividades hogareñas: desayunos, comidas, manualidades, juegos, estudio, etc. De allí que guarde cierta analogía con el living en lo que hace a su polifuncionalidad; es decir que nuevamente habrá que pensar en planificar los 3 layers al proyectar su correcta iluminación.

4.3.1. Iluminación general

Este layer podrá estar definido por spots embutidos en el cielorraso o apliques de techo extrachatos provistos de lámparas incandescentes o fluorescentes compactas. Es muy aconsejable que las luminarias estén cubiertas en su parte inferior por un difusor de

acrílico o vidrio esmerilado para facilitar la limpieza y evitar que la grasitud típica del ambiente penetre en el compartimiento de las lámparas. Al igual que en el living, la iluminación deberá ser suave y uniforme con un nivel solo lo suficiente para una cómoda circulación interna: 100 a 150 lux.

4.3.2. Iluminación de trabajo



En la cocina, la iluminación de trabajo cobra especial importancia, ya que en algunos sectores se realizan tareas que requieren buenas condiciones visuales para evitar accidentes. El más importante de estos sectores lo constituye la mesada. Sobre ella se lleva a cabo la preparación de los diversos ingredientes de las comidas siendo una de las principales tareas el corte a cuchillo. Este trabajo encierra cierto riesgo si no se dispone de buena luz. El nivel de iluminación recomendado para la mesada debe estimarse entre los 700 y 1000 lux. Este nivel, si bien elevado, es fácilmente obtenible

mediante luminarias herméticas equipadas con tubos fluorescente ubicadas debajo de las alacenas. Como ya se ha dicho anteriormente, para esta función la reproducción cromática y la temperatura de color de las lámparas es fundamental. Se recomienda utilizar tubos del tipo trifósforo con temperatura de color de 3000 K (*blanco cálido*) en las potencias y tipos que resulten necesarias según las dimensiones de la mesada y el nivel de iluminación a obtener.



Si la piletta estuviera separada de la mesada y fuera de la línea de las alacenas, esta requerirá de una iluminación propia que podrá estar dada por una lámpara tipo PAR 20 o 30 dependiendo de la altura de montaje.

Como regla general, y siendo la cocina un recinto donde los lugares de trabajo se encuentran ubicados contra las paredes, es fundamental que la iluminación sea del tipo localizada y nunca proveniente de espaldas a la persona, ya que de esa forma siempre estará proyectando sombra sobre dichos lugares de trabajo.

Otro sitio destinado a actividades múltiples lo constituye la mesa de la cocina. Considerando la versatilidad de sus funciones, será conveniente planificar que la iluminancia alcance los 500 lux y disponga de dimmer, ya que este nivel será solo necesario en los casos de lectura o escritura.

La luminaria por excelencia para iluminar la mesa de la cocina es la colgante con pantalla traslúcida para evitar el efecto "caverna": Esta pantalla podrá ser de cristal satinado, esmerilado, opalina o de acrílico de buena calidad, y con la suficiente transparencia como para permitir que parte de la *emisión* luminosa bañe el cielorraso.

Las fuentes de luz podrán ser lámparas incandescentes opalinas standard, tipo «globo» de diámetro grande, fluorescentes compactas alojadas dentro de un globo satinado e incandescentes halógenas de baja tensión tipo "Bi-pin" también ocultas dentro de un pequeño globo satinado.

Las lámparas, cualquiera sea el tipo, no deberán deslumbrar a la persona sentada a la mesa, por lo que la luminaria estará suspendida a una altura tal que la pantalla cubra la visión directa de la fuente. (*generalmente 15° por encima de la línea de visión de la persona sentada*). Si la cocina posee un "breakfast" con alacena, este podrá ser iluminado con spots embutidos en la misma. Si no la tiene, 2 ó 3 pequeños colgantes sobre su mesada serán una buena solución.



4.3.3. Iluminación de destaque

En la cocina, la iluminación de destaque se limitará a algún posible cuadro generalmente ubicado sobre la pared donde se encuentra la mesa. En ese caso, se podrá relacionar la luminaria colgante con un pequeño spot orientable por medio de un trozo de riel electrificado de no más de 1,0 m de longitud.

4.4.0. El dormitorio

Si bien el dormitorio es la dependencia de la casa destinada al sueño, también es cierto que en ésta habitación sus ocupantes leen, ven televisión, se visten y maquillan y hasta escriben. Para un dormitorio se deberán proyectar dos de los layers de iluminación: una iluminación general y una iluminación de trabajo o localizada.

4.4.1. Iluminación general

Será una iluminación difusa y en lo posible indirecta que suministre un nivel no superior a los 100 lux. Eventualmente se podrá optar por un par de colgantes coincidentes con los bordes de la cama y equipados con lámparas de tonos cálidos y luz blanda controladas por dimmer. Lo importante en el dormitorio es lograr una atmosfera agradable que invite al descanso.

4.4.2. Iluminación de trabajo o localizada

Por así llamarlo, este sistema deberá cumplir con la función de iluminación localizada en varios lugares de la habitación. Uno de los sistemas a prever será la iluminación de lectura. Las dos opciones tradicionales serán:

- 1) la lámpara de mesa, ubicada al costado de la cabecera y ligeramente por detrás de la cabeza del lector. Es conveniente que la luminaria sea del tipo de luz direccional, a los efectos de no molestar a la persona que se encuentra en el lado contiguo de la cama.
- 2) La segunda opción es la de los apliques ubicados sobre la pared de la cabecera a 1,80m del piso y enfocados directamente al punto de lectura. La lámpara idónea para esta alternativa ser una dicróica de 12V/20W/10 ó 12° de apertura de haz.

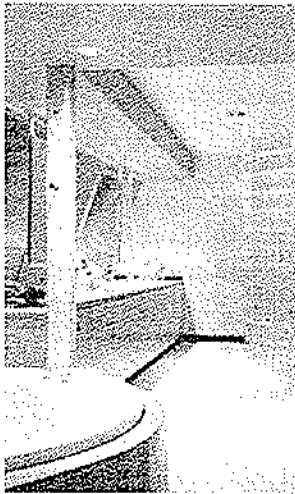
Otro lugar de la habitación a ser iluminado es el placard. Lo ideal será iluminarlo interiormente para que la luz no moleste a la otra persona. Esta iluminación podrá estar dada por un tubo fluorescente de 18W en una luminaria extrachata con acrílico envolvente.

El encendido podrá ser local por medio de un interruptor ubicado junto a la luminaria (Existen luminarias de este tipo con un pequeño interruptor incluido).

Si en la habitación existe un espejo a modo de set de maquillaje, este deberá iluminarse desde los costados con un par de luminarias de luz muy difusa y buena reproducción cromática. Una eventual mesa de escritura estará muy bien iluminada si se provee un spot embutido en el cielorraso o un aplique de pared dirigido directamente a ella. Nuevamente la lámpara podrá ser una dicroica de haz concentrado.

Por último, no habrá que olvidar la posibilidad de que exista un aparato de televisión.

Es sumamente importante que cuando se vea televisión haya alguna suve luz de fondo, detrás o al costado del aparato, que equilibre un poco las luminancias entre la pantalla y el fondo del cuarto, caso contrario la vista se verá obligada a un gran trabajo de adaptación. Como acotación al sistema de control, cabe destacar que el dormitorio, por las características propias de su función, justifica la inclusión de una pequeña central de dimming comandada por infrarrojo como un detalle de máximo confort. Esto permitirá controlar todos los sistemas de iluminación desde la posición de reposo.



4.5.0. El baño principal

El baño principal de una residencia cumple variadas funciones. No solamente es el lugar donde la gente de la casa se higieniza, sino que es también el sitio donde el hombre se afeita y la mujer se maquilla y también se depila. Esta variedad de tareas implica que se deberá pensar en más de un sistema de iluminación.

Sin duda habrá que contar con una iluminación general, como en la mayoría de los casos uniforme y difusa. Para esa función 100 lux serán suficientes y podrán estar provisto por 1 o 2 plafonds o spots herméticos con lámparas incandescentes.

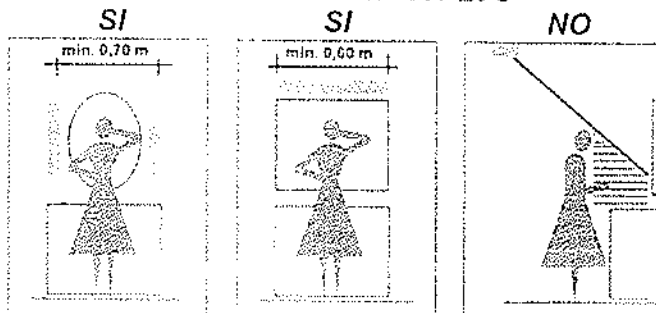
A este respecto cabe acotar que en lugares donde las luces se encienden muchas veces al día como es el caso del baño, la lámpara fluorescente resulta antieconómica, ya que la vida útil de estas se acorta sustancialmente con cada encendido.

La bañera es un accesorio que no solamente se utiliza para ducharse sino también para el depilado en las mujeres o un poco de lectura para cualquiera. Estas dos últimas actividades requieren de una buena iluminación, al menos unos 300 lux. Como las luminarias encargadas de proveer esta iluminación deberán forzosamente estar ubicadas por encima de la bañera, deberán poseer una protección del tipo IP 65, la cual, según esta clasificación implica "hermeticidad contra la proyección de agua en todas las direcciones". La lámpara para esta función podrá ser una incandescente halógena tipo PAR 30 de 30° de apertura de haz. Un parrafo aparte merece la iluminación del espejo. En realidad lo que se debe iluminar no es el espejo sino el rostro de quien se mira en él. Deberá evitarse la iluminación concentrada

y cenital. Es muy frecuente encontrar en baños lámparas dicroicas ubicadas en el cielorraso sobre la cabeza de la persona.

Este es un error, ya que esa luz concentrada producirá sombras muy "duras" en los ojos, debajo del mentón y en general marcará en forma dramática cualquier prominencia del rostro. La correcta iluminación del rostro deberá realizarse desde los costados del espejo con una luminaria a cada lado del mismo y separadas entre sí al menos 0,70m para que ambos lados de la cara queden perfectamente iluminados.

PARA MIRARSE AL ESPEJO



La luz debe ser muy blanda y envolvente y la fuente poseer un poder de reproducción cromática óptimo. Las luminarias podrán ser apliques con opalinas, no obstante lo ideal es que sean fuentes con una extensión en altura de al menos unos 0,40m para que toda la cara y cuello queden perfectamente «bañados», especialmente en el afeitado masculino.

Otras opciones son las «candilejas» compuestas de por ejemplo 3 lámparas tipo gota de 25W de cada lado o sendos listones con tubos fluorescentes de 18W del tipo trifósforo con difusor de acrílico u opalina. En esta aplicación si se podrá pensar en utilizar tubos fluorescentes, ya que el maquillaje o afeitado son actividades que se realizan tan solo 1 ó 2 veces al día.

Si la única alternativa es iluminar desde la parte superior del espejo, la luz deberá provenir de una luminaria o fuente que tenga una longitud de al menos 0,60m para asegurar que ambos lados del rostro queden iluminados.

ILUMINACION DE JARDINES



Uno de los valores agregados del alumbrado exterior es que logra «expandir» visualmente el interior de una vivienda. Cuando no hay iluminación exterior o de jardín, las ventanas se tornan sumamente reflectivas durante la noche. Esto se ha dado en llamar el efecto «espejo negro» (*“black mirror”*).

En esta condición, los vidrios de las ventanas reflejan las luces del interior, y los ocupantes de la casa lo único que ven es su propia imagen reflejada en el vidrio en lugar de ver a través de ellos al exterior.

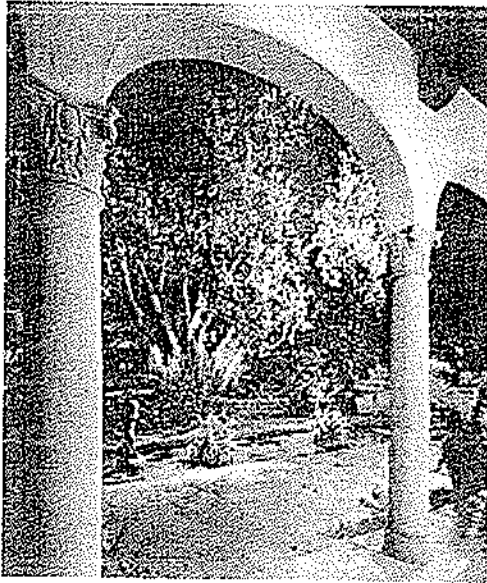
Las personas a menudo se sienten aprisionadas de noche cuando se encuentran en el interior rodeadas de estos agujeros negros. Incluso las habitaciones aparecen como más pequeñas de lo que en realidad son. Una regla de oro en luminotecnia es tratar de balancear la iluminación interior con la exterior; esto permitirá que las ventanas aparezcan más transparentes, tal como aparecen durante el día.

Sicológicamente, además, la gente se siente más segura cuando puede ver el exterior de la casa; aparecen como más visibles, y de hecho lo son, cuando en el exterior no hay luz. Obviamente no es necesario iluminar el parque como si fuera un estadio de fútbol; este tipo de iluminación ya entraría en la categoría de «iluminación de seguridad». Iluminación de seguridad e iluminación de jardines son dos cosas diferentes. No obstante, es común

ver residencias en las que se pretende utilizar las mismas fuentes para ambas funciones.

La iluminación de seguridad consiste a menudo en un simple proyector o dos generalmente equipados con lámparas incandescentes halógenas de apreciable potencia que instantáneamente iluminan un área con un considerable nivel de iluminación. Esto es lo que la gente hace habitualmente cuando escuchan algún ruido en el exterior. Estas luminarias de seguridad no deben formar parte de la iluminación «decorativa» del jardín. No hay cosa tan desagradable como llegar de noche a la casa de un amigo y encontrarse encandilado por un proyector como si fuera una cárcel.

La iluminación de jardín debe ser sutil. La atención debe ser acaparada por plantas, follaje, esculturas, pero no por las luminarias. Existen muchas técnicas para la iluminación decorativa de un jardín; he aquí algunas de ellas:



Uplighting o iluminación ascendente

Es una de las técnicas más dramáticas de iluminación y consiste en iluminar de abajo hacia arriba generalmente en forma rasante. Suele producir efectos realmente espectaculares especialmente cuando se aplica sobre grandes árboles de importante follaje, palmeras, etc. Las luminarias más adecuadas para realizar esta técnica son las embutidas de piso, las que se suministran para lámparas a descarga, incandescentes halógenas con reflector metálico y hasta para diroicas. Existen en versión fija u orientable, como así también de espejo asimétrico, ideal para cubrir grandes superficies sin deslumbrar al observador.

Actualmente pueden obtenerse efectos realmente escenográficos con el advenimiento de las lámparas a vapor de mercurio halogenado de doble contacto de color, como así también las diroicas de color.

También puede aplicarse esta técnica utilizando luminarias tipo spot, las que pueden ser hincadas en el piso por medio de una punta de lanza provista a tal efecto. Este tipo de artefacto es más versátil y pequeño que el anterior

y es fácilmente ocultable detrás de algún arbusto. Está más indicado para iluminar pequeños árboles o arbustos.

Backlighting o Contraluz.

Una simple e interesante técnica que consiste en iluminar alguna superficie clara, por ejemplo una pared, sobre la cual se recortará la silueta de algún árbol o arbusto preferentemente ralos. La superficie de fondo podrá ser eficientemente iluminada con luminarias tipo "wall-washer" o bañadores de pared para intemperie, las cuales podrán ser equipadas incluso con lámparas fluorescentes, las que permitirán cubrir una mayor superficie con menor cantidad de luminarias.



Downlighting o iluminación descendente. (Iluminación hacia abajo)

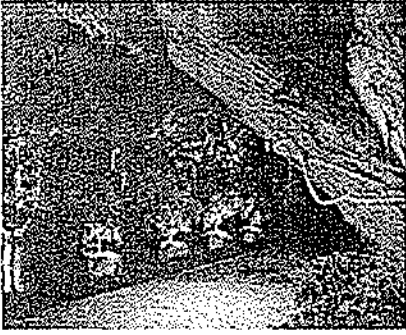
Este recurso está más bien indicado para sitios donde se desarrollen actividades nocturnas o para mitigar suavemente sombras duras producidas por fuentes puntuales. Pueden utilizarse diversos tipos de luminarias de emisión luminosa directa de regular concentración, montadas sobre aleros, enrejados o grandes árboles.

Spotlighting o iluminación puntual.

Esta técnica es el equivalente a la iluminación de destaque de interiores. Debe ser utilizada con sutileza y precaución, ya que su efecto tiende a acaparar la atención del observador. Está indicada en la iluminación de pequeñas esculturas o curiosos especímenes de plantas que merezcan ser destacadas.

Pathlighting o Iluminación de senderos.

Esta es una técnica de iluminación que debe ser utilizada juiciosamente. A menudo se pueden observar senderos o entradas de vehículos flanqueados por farolas como única iluminación exterior. Esta forma de iluminar tiene toda la apariencia de una pista de aterrizaje. Al iluminar senderos, será conveniente pensar en algún tipo de "bolardo" o luminaria tipo hongo de altura no mayor a los 0.60 m con vidrio opalino, y que no llame la atención en sí misma sino el efecto de su iluminación.



Esto, en combinación con alguna tenue iluminación adicional producirá un confortable entorno exterior.

Quedaría por último una técnica realmente exquisita que en inglés llaman "moonlighting" o "iluminación de luna" en castellano. Esta modalidad constituye sin duda la más natural de todas las formas de iluminar un parque o jardín, ya que simula la iluminación de una noche de luna llena. No es fácil de lograr, ya que se corre el riesgo de que el predio termine pareciendo una "playa de estacionamiento". Consiste en montar proyectores en los árboles más altos. La gran mayoría iluminará en forma descendente el piso en forma irregular, *(debido a las sombras producidas por el follaje)* mientras que algunos pocos lo harán hacia arriba alumbrando el follaje.

La luz debe ser muy blanda y suave; blanda porque la luz de luna es difusa por excelencia y suave porque hay que recordar que la iluminancia producida por la luna llena no supera los 0,2 lux. ■

La diferencia entre luz e iluminación



Apoyo, Confiabilidad, Servicio.



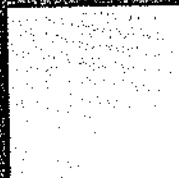
Programa de cálculo lumínico, Diseños especiales + Ingeniería del producto + línea standard.



Presentes en las mejores obras a nivel nacional e Internacional.

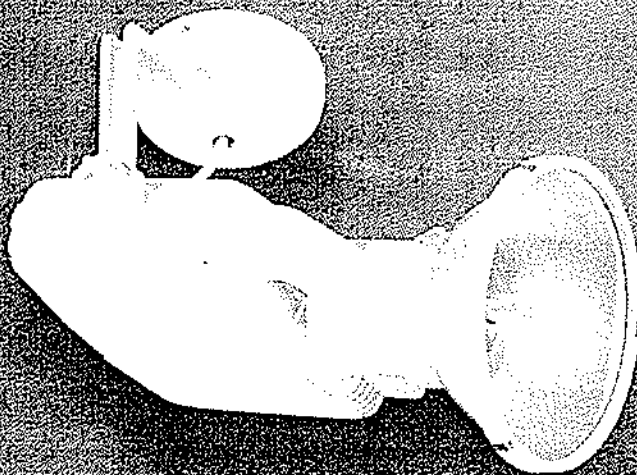
Planta Industrial Garín.
Hugo O. Mainieri s.a.

José Hernández 1450 - (1619) Garín.
Tel./Fax: (03488) 45-8880/2
E-mail: produccion@fassyakol.com.ar
Web: www.fassyakol.com.ar

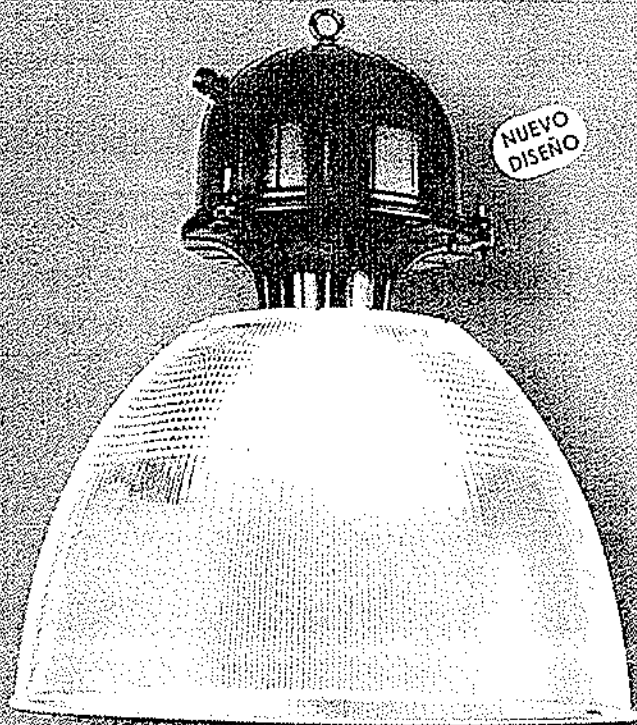


Departamento de Proyectos y Obras.
Hugo O. Mainieri s.a.

Boyacá 1553 - (1416) Capital Federal
Tel.: 4.582-0506 // Fax: 4.581-4679
E-mail: info@fassyakol.com.ar
Web: www.fassyakol.com.ar

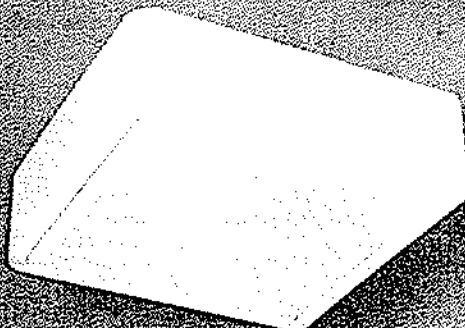


SPRIT (PL.251)
MH 70 - 160W

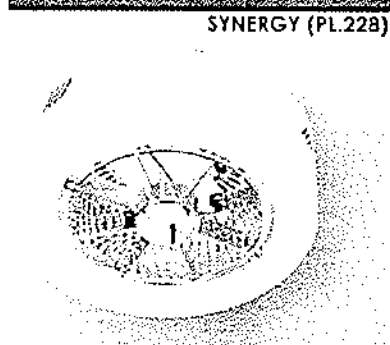


NUEVO
DISEÑO

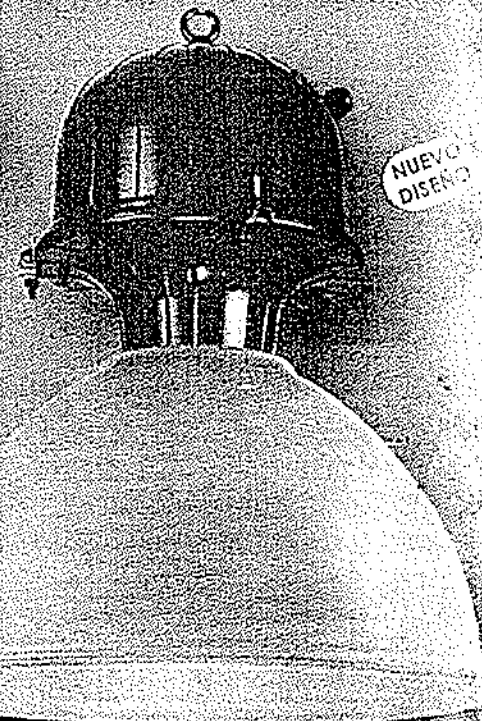
POLICAR (Q.306)
MH 400W (E40)



PL.435
(2x26Y)

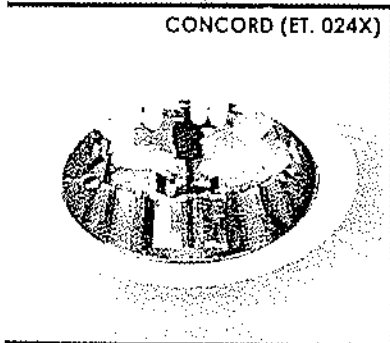


SYNERGY (PL.228)

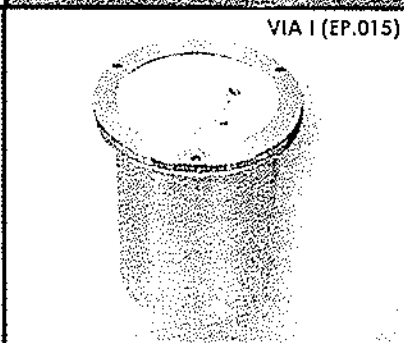


NUEVO
DISEÑO

BLOCK 1355
MH 250W/400W (E)

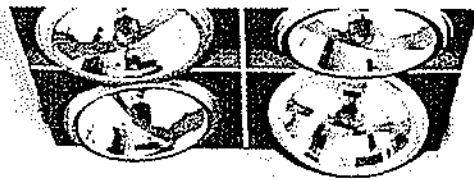


CONCORD (ET. 024X)

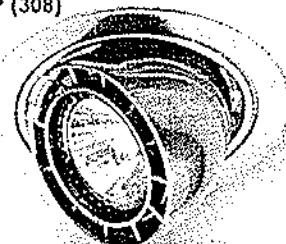


VIA I (EP.015)

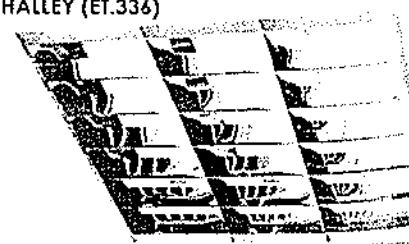
SPACE (ET.022/4C)



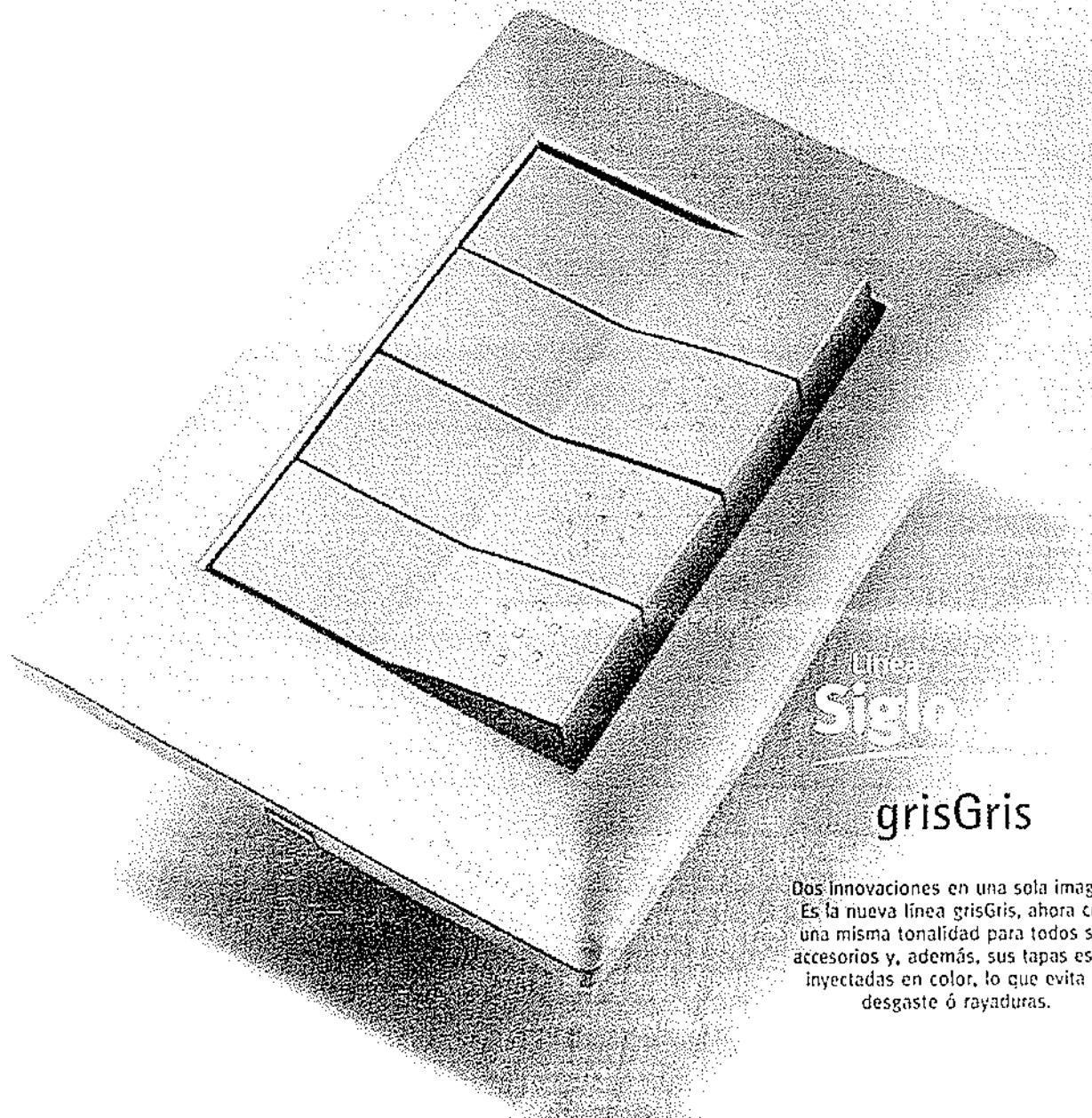
WIP (308)



HALLEY (ET.336)



Usted está viendo dos ideas brillantes:
el grisGris de Cambre.



línea
Siglo

grisGris

Dos innovaciones en una sola imagen.
Es la nueva línea grisGris, ahora con
una misma tonalidad para todos sus
accesorios y, además, sus tapas están
inyectadas en color, lo que evita el
desgaste ó rayaduras.


Cambre

www.cambre.com.ar

A tono con los más diversos
ambientes contemporáneos,
nueva línea grisGris.
Nuevamente Cambre.

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

**METODO
DE CALCULO**

12

CAPITULO

Autore
Sr. Carlos Lazo

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

MÉTODOS DE CÁLCULO

1. Interpretación y uso de información fotométrica de luminarias para alumbrado de interiores.

INFORMACIÓN FOTOMÉTRICA BÁSICA

1.1. - Curva de distribución luminosa.

Las mediciones de laboratorio practicadas sobre luminarias, se reducen en general a la obtención de curvas de distribución luminosa en distintos planos, de las cuales resulta posible obtener por cálculos toda la información necesaria para tener una idea acabada del comportamiento luminotécnico de las mismas.

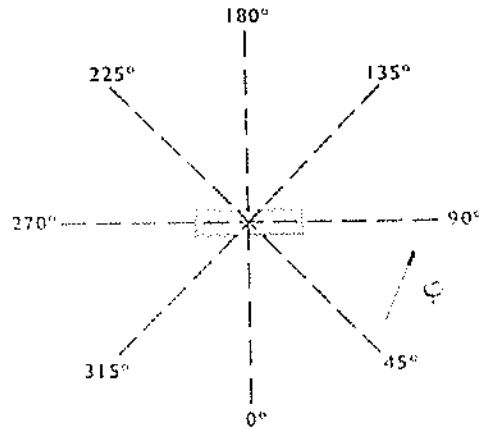


Figura 1 a:
Trama de los semiplanos verticales definidos por el ángulo w . Curvas en semiplanos opuestos (p.e. 0° y 180° ; 45° y 225° ; 90° y 270° ; 135° y 315°) son iguales. Además curvas en semiplanos 45° y 315° son también iguales.

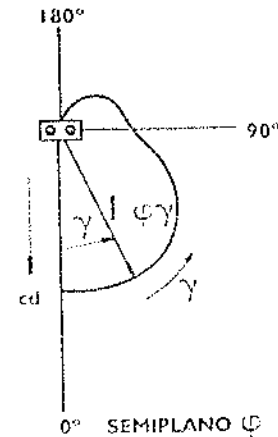


Figura 1 b.
Curva de distribución luminosa en semiplano ϕ .

De estas curvas de distribución, pueden además derivarse todos los datos indispensables para la aplicación de los distintos métodos de cálculo que el proyectista utiliza para resolver los problemas que la práctica le presenta. Aún cuando en interiores las luminarias, especialmente cuando se trata de aquellas para tubos fluorescentes, pueden presentar marcadas asimetrías desde el punto de vista fotométrico, en general tales asimetrías pueden ser neutralizadas a los efectos de analizar la emisión del flujo bajo distintos ángulos promediando las intensidades luminosas de cuatro planos, *figura 1*. Así lo establecen las recomendaciones de distintos países. Utilizando planos verticales que se cortan en el eje de la luminaria y siendo las curvas de distribución luminosa simétricas con respecto al mismo, será suficiente indicar las curvas en semiplanos definidos por el ángulo ϕ .

Una intensidad luminosa en el espacio quedará perfectamente definida por los dos ángulos: ϕ (que especifica el semiplano) y γ (que especifica la ubicación de dicha intensidad en el semiplano considerado).

Para un determinado ángulo γ la intensidad luminosa promedio se obtiene en base a la siguiente expresión:

$$I_{\text{prom. y cte.}} = \frac{2 \cdot I_{0^\circ-\gamma} + 4 \cdot I_{45^\circ-\gamma} + 2 \cdot I_{90^\circ-\gamma}}{8} = \frac{I_{0^\circ-\gamma} + 2 \cdot I_{45^\circ-\gamma} + I_{90^\circ-\gamma}}{4} \quad (1)$$

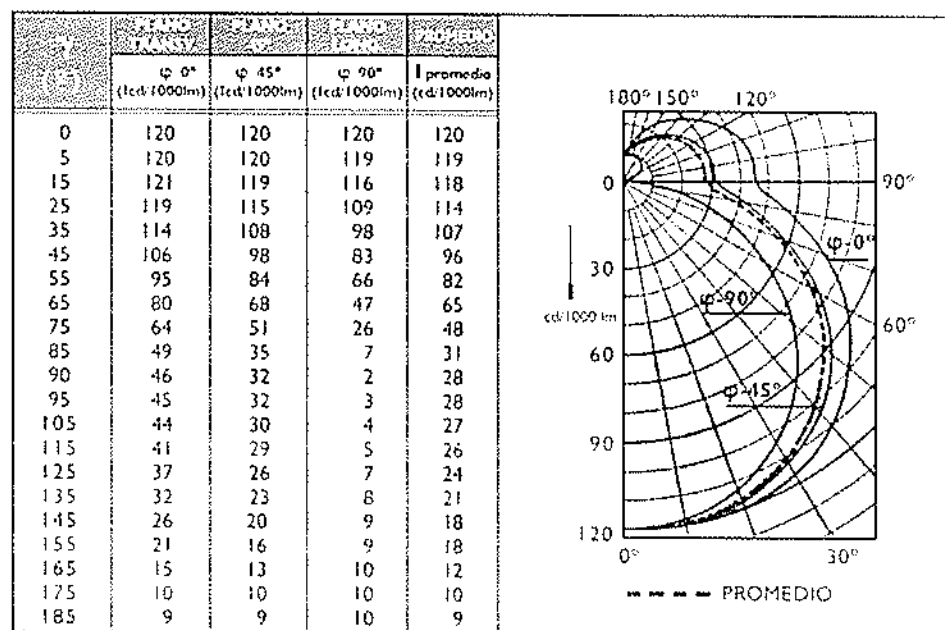


Figura 2: Curvas de distribución luminosa

En la **figura 2** se tabulan y representan gráficamente los valores de intensidad luminosa medidas en el laboratorio, así como los promedios calculados para una luminaria (Ecuación 1). Por razones prácticas y a los fines de facilitar comparaciones, estos valores se acostumbra referirlos a un flujo de 1000 lm (flujo de lámpara de la luminaria).

Cabe destacar, que ésta modalidad se aplica en la mayoría de los países salvo en USA, donde los laboratorios presentan sus protocolos de ensayo en valores absolutos, es decir, para el flujo luminoso total de cada luminaria.

1.2. El diagrama zonal - Su interpretación

Las curvas de distribución luminosa de **figura 2** no permiten tener una idea de la emisión de flujo de la luminaria en distintos ángulos espaciales.

Sin embargo, a partir de la curva de distribución luminosa promedio, es posible llegar a la representación del diagrama zonal de flujo emitido, que da una información completa en tal sentido.

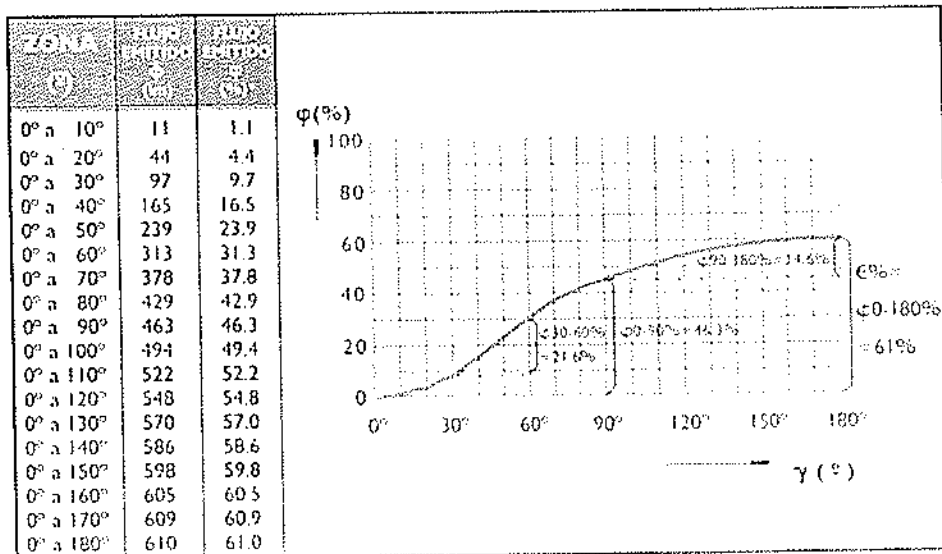
Si consideramos que el flujo emitido por las fuentes luminosas que contienen la luminaria representa el 100 %, el diagrama zonal del flujo porcentual emitido en el ángulo espacial de eje vertical, cuyo semiángulo generatriz es el γ considerado **figura 3**.

Así por ejemplo:

La ordenada correspondiente a $\gamma = 90^\circ$ representa el flujo φ_{0-90° % es decir, el flujo porcentual emitido en el hemisferio inferior por la luminaria, referido al flujo total de lámparas contenidas en la misma (en la Fig. 3, $\varphi_{0-90^\circ} \% = 46.3 \%$)

La ordenada correspondiente a $\gamma = 180^\circ$, representa el flujo porcentual $\varphi_{0-180^\circ} \%$, es decir, el total porcentual emitido por la luminaria, siempre referido al flujo total de lámparas contenidas en la misma, y por lo tanto su rendimiento ϵ . (En la figura 3, $\varphi_{0-180^\circ} \% = 61 \% = \epsilon$).

La diferencia entre estas dos ordenadas representa el flujo porcentual en el hemisferio superior ($\varphi_{90-180^\circ} \% = 14.6 \%$). Del mismo modo cualquier diferencia de ordenadas, dará el flujo porcentual emitido en el ángulo espacial limitado por los ángulos que definen dichas ordenadas. (En figura 3, $\varphi_{30-60^\circ} \% = 21.6 \%$).



* REFERIDO AL FLUJO TOTAL DE LAMPARAS CONTENIDAS EN LA LUMINARIA QUE SE SUPONE IGUAL A 1000 lm

Figura 3: Diagrama zonal

EL METODO DE LAS CAVIDADES ZONALES

Algunos antecedentes

El método denominado de las «Cavidades Zonales», debido a los investigadores J. R. Jones y B. E. Jones [1], es el recomendado por la «Illuminating Engineering Society of North America (IESNA) USA a partir del mes de Febrero de 1964 [2].

Luego de haber sido analizados en su momento los diversos métodos de cálculo que estaban siendo empleando en diversos países (El método del «Lumen», el recomendado por la Asociación Luminotécnica Alemana, etc.) se optó por la aplicación del método de las Cavidades Zonales en la República Argentina. Dado que para la aplicación de este método se requiere disponer de una tabla de coeficientes de utilización de cada una de las luminarias en particular y cuya apariencia es muy parecida a la utilizada en el Método del Lumen pero estructurada de manera diferente a partir de su novedosa forma de determinar el Índice del Local, fueron en realidad los laboratorios de Luminotecnia Nacionales quienes han debido configurar sus informes fotométricos, y con ellos las tablas de coeficientes de utilización a este método.

El Método de las Cavidades Zonales

Sin duda es trata de un método mucho más preciso que el del Lumen y bastante sencillo conceptualmente. Permite resolver situaciones que con los métodos anteriormente citados no hubieran tenido solución, ya que permite calcular locales con diversos tipos de obstáculos y formas geométricas. Si bien dijimos que se trataba de un método sencillo, cuando se trata de espacios con muchos obstáculos y diferentes tipos de reflectancias en proceso se hace largo y tedioso. Afortunadamente, en nuestros días el acceso a los muchísimos «softwares» de cálculo luminotécnico disponibles en el mercado permiten realizar en segundos los cálculos que manualmente llevarían en algunos casos hasta horas.

El método permite considerar entre otros casos:

1. Altura de suspensión de las luminarias, variable
2. Altura del plano de trabajo, variable.
3. Distintas reflectancias de paredes sobre y bajo el plano de trabajo y por encima del plano de las luminarias.

4 Obstrucciones en el espacio existente sobre el plano de las luminarias (p. e. vigas) [3]

5 Locales de formas geométricas diversas (p. e. circulares, triangulares, etc) [4] [5]

6 Distintos tipos de cielorrasos (p. e. bóvedas, un agua, dos aguas, etc) [5]

A tal fin, divide al local en tres cavidades, figura 4 cada una de las cuales queda caracterizada por un índice, calculable en base a las siguientes expresiones que tienen en cuenta las dimensiones de las mismas.

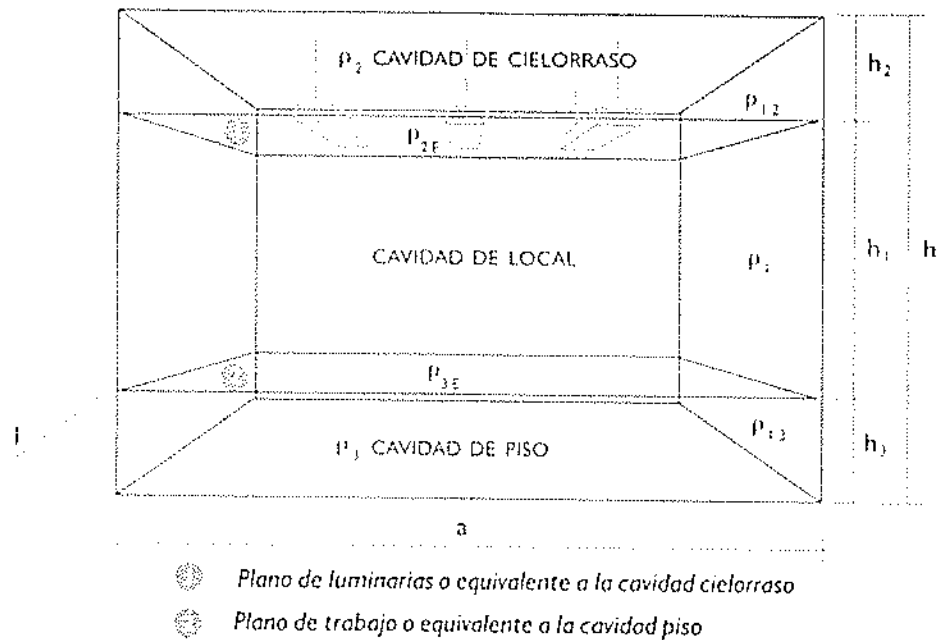


Figura 4

$$\text{Índice de la cavidad local} \quad k_1 = \frac{5 h_1 (a + l)}{a \cdot l} \quad (2)$$

$$\text{Índice de la cavidad cielorraso} \quad k_2 = \frac{5 h_2 (a + l)}{a \cdot l} = k_1 \cdot \frac{h_2}{h_1} \quad (3)$$

$$\text{Índice de la cavidad piso} \quad k_3 = \frac{5 h_3 (a + l)}{a \cdot l} = k_1 \cdot \frac{h_3}{h_1} \quad (4)$$

La idea que ha llevado a la consideración de las tres cavidades, reside en la necesidad de reemplazar el complejo análisis de la distribución del flujo emitido por las luminarias y sus interreflexiones en los planos aparentes de luminarias y de trabajo, por las reflexiones en los planos aparentes de luminarias y de trabajo a los cuales se les asigna reflectancias reales de las superficies que limitan las cavidades (de cielorraso y piso) cuyas dimensiones quedan caracterizadas por los índices k_2 y k_3 respectivamente.

Para el caso de luminarias embutidas o aplicadas al cielorraso, $h_2 = 0$, o sea que la reflectancia efectiva coincide con la reflectancia real del cielorraso. De igual manera si el plano de trabajo coincide con el piso, $h_3 = 0$, la reflectancia efectiva real del piso.

En la práctica, y a los efectos de la implementación del Método de las Cavidades Zonales, serán de aplicación las mismas fórmulas que se utilizaran con el método del Lúmen, es decir, que para determinar el número total de luminarias necesario para iluminar un local dado con un nivel de iluminación o iluminancia media pre-establecido, tendremos:

$$N = \frac{Em \cdot a \cdot l}{cu \cdot fm \cdot \phi \cdot I}$$

Donde:

N = Número de luminarias

Em = Nivel de iluminación o iluminancia media pre-establecido (en lux)

a = Ancho del local (en m)

l = Largo del local (en m)

cu = Coeficiente de utilización

fm = Factor de mantenimiento o depreciación de la instalación

J. R. Jones y B. F. Jones establecen el método de cálculo de *cu* para cada luminaria a partir de la información proveniente del diagrama zonal y considerando las dimensiones del local, caracterizadas k_z (índice de la cavidad local) y las reflectancias efectivas de las tres cavidades. Los laboratorios Nacionales proporcionan las tablas de coeficientes de utilización para cada luminaria en particular en concordancia con las recomendaciones de la IESNA. Estas tablas se calculan y proporcionan para tres relaciones de espaciamiento entre luminarias y altura de la cavidad local: 0,4, 0,7 y 1,0.

La IESNA recomienda:

- Para luminarias con tubos fluorescente, relación igual a 0,4
- Para luminarias con lámparas incandescentes o a vapor de mercurio, relación igual a 0,7.

En general será suficiente que el fabricante suministre para cada luminaria una sola tabla completa o resumida según recomendación de la IESNA para la relación espaciamiento sobre altura más conveniente.

Estas tablas se calculan admitiendo una reflectancia efectiva de piso $P_{JE} = 20 \%$.

NOTA: Es de hacer notar, y a modo de advertencia, que los Laboratorios de Luminotecnia de USA acostumbra a presentar sus ensayos fotométricos en valores absolutos, es decir, para el flujo total contenido en cada luminaria y no para 1000 lm como en la Argentina y otros países. Estos ensayos, además, son efectuados considerando los planos verticales ϕ girados 90° , o sea que el plano ϕ de 0° es el que corta a la luminaria longitudinalmente. De todos modos esto no influye en el Coeficiente de Utilización, pudiendo utilizarse las tablas de coeficientes de luminarias de USA sin ningún tipo de restricciones. Sólo se deberá prestar atención cuando se trabaje con valores de intensidad luminosa (cd) y en las tablas de luminancias medias (cd/m²).

Ejemplo 1:

Sea un local de las siguientes características **figura 5**.

Dimensiones		Reflectancias
$l = 8.80 \text{ m}$	$h_{1z} = 3.15 \text{ m}$	$P_1 = 50 \%$
$a = 7.50 \text{ m}$	$h_2 = 0$	$P_2 = 80 \%$
$h = 3.90 \text{ m}$	$h_2 = 0.75 \text{ m}$	$P_{JE} = 20 \%$ (estimada)

Determinar:

- El coeficiente de utilización empleando la luminaria A (Fig. 5 b), a la cual corresponde la Tabla A adjunta, para el local dado, estando la luminaria embutida en el cielorraso.
- El número de luminarias necesarias para un nivel de iluminación medio mantenido de 500 lux, utilizando tubos fluorescentes convencionales tipo standard que emiten 3000 lm cada uno.

Solución:

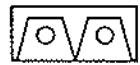
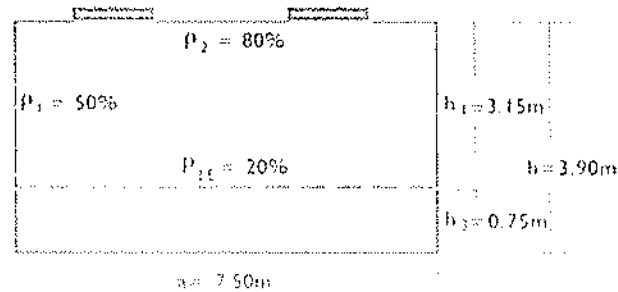


Figura 5 b

Figura 5 a

1. Se determinan en primer lugar los índices de las cavidades:

$$k_1 = 5 \cdot h_1 \cdot \frac{l + a}{l \cdot a} = 5 \cdot 3.15 \cdot \frac{8.30 + 7.50}{8.30 \cdot 7.50}$$

$$k_1 = 4$$

$$k_2 = 0 \text{ (por tratarse de luminarias embutidas, como cavidad cielorraso se considera directamente el cielorraso)}$$

$$k_3 \text{ no es necesario calcularlo pues se estima } \rho_{2e} = 20\%.$$

2. Ya que las luminarias están embutidas en el cielorraso, la reflectancia efectiva de la cavidad cielorraso es la reflectancia real del mismo:

$$\rho_2 = \rho_{2e} = 80\%$$

3. Con los valores de ρ_{2e} , ρ_1 y k_1 , se entra en la tabla de coeficientes de utilización, (Tabla A) y se obtiene el mismo:

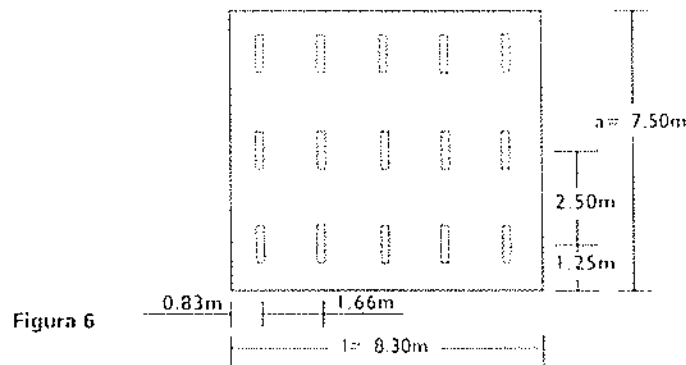
$$cu = 0.49$$

b) El número de luminarias será:

$$E = \frac{E \cdot a \cdot l}{cu \cdot fm \cdot \phi \cdot L} = \frac{500 \cdot 7.50 \cdot 8.30}{0.49 \cdot 0.80 (*) \cdot 6000} = 13.2$$

(*) 0.80 se considera un valor económicamente aceptable como factor de depreciación para una instalación en un local de características de limpieza y mantenimiento muy buenas.

Se adoptan 15 luminarias que pueden disponerse de la siguiente forma **figura 6**:



Con lo que la iluminación real será:

$$E_{rm} = \frac{N \cdot \phi \cdot U \cdot CU \cdot FM}{a \cdot l} = \frac{15 \cdot 6000 \cdot 0.49 \cdot 0.80}{7.50 \cdot 8.30}$$

$$E_{rm} = 566 \text{ lux}$$

Ejemplo 2:

Determinar la nueva iluminación media mantenida sobre el plano de trabajo, si en el local de **Ej. 1** se suspenden las luminarias a $h_2 = 0.40\text{m}$ del cielorraso **figura 8**, estimando $P_{2E} = 20\%$.

Solución:

1. Se determinan los índices de las cavidades:

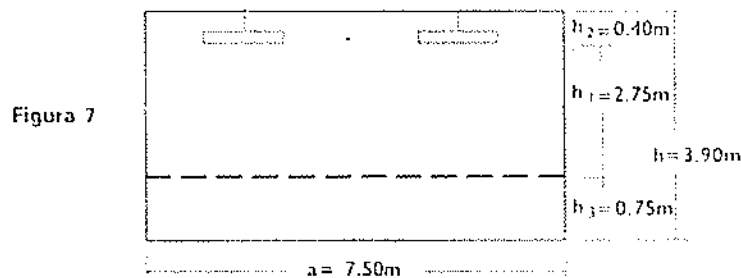
$$k_1 = 5 \cdot 2.75 \cdot \frac{7.50 + 8.30}{7.50 \cdot 8.30}$$

$$k_1 = 3.5$$

$$k_2 = 3.50 \cdot \frac{0.40}{2.75}$$

$$k_2 = 0.51$$

$$k_3 \text{ no es necesario calcularlo pues se supone } P_{2E} = 20\%$$



Para la determinación de la reflectancia efectiva de la cavidad cielorraso se dan las gráficas de la **figura 8 a** y **8 b**, en las cuales, entrando con el índice de la cavidad como abscisa y buscando la curva correspondiente a la combinación de reflectancias medias de paredes y cielorraso se obtiene como ordenada la reflectancia P_{2E} .

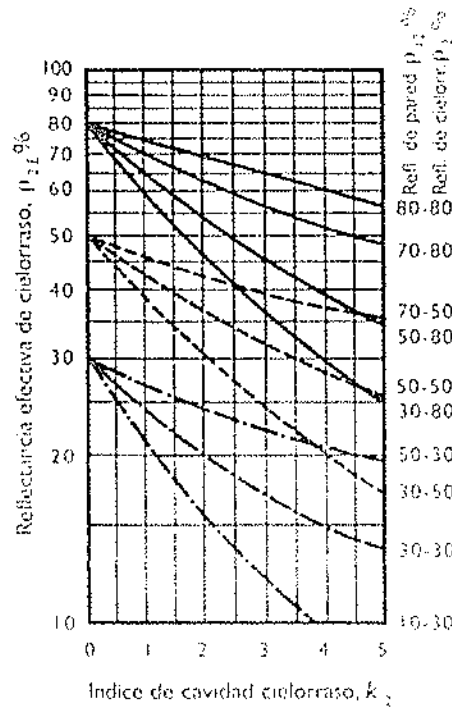


Figura 8 a.

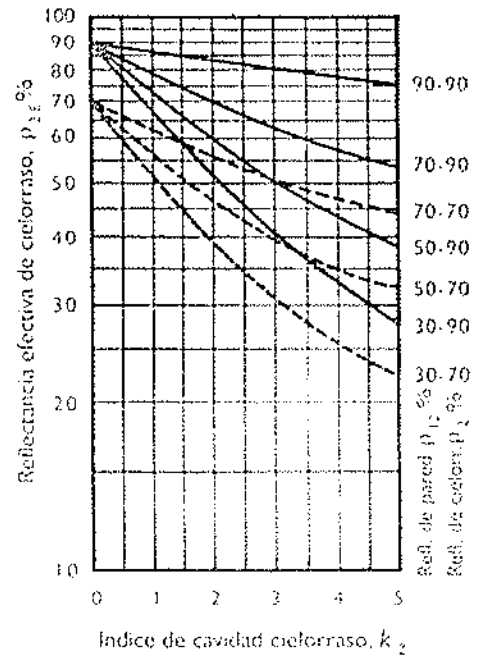


Figura 8 b.

2. La reflectancia efectiva de cavidad de cielo raso se determina de las figuras 8 a y 8 b, entrando con k_2 , p_2 y p_1 , resultando:

$$p_{2e} = 72 \%$$

se adopta el valor tabulado 70 %.

3. Entrando en la Tabla A con estos datos, se obtiene lo siguiente:

$$\text{para } k_1 = 3 \quad cu = 0.53$$

$$\text{para } k_1 = 4 \quad cu = 0.48$$

interpolando en forma lineal para $k_1 = 3.5$ se obtiene:

$$cu = 0.53 - (0.53 - 0.48) \cdot \frac{5}{10}$$

$$cu = 0.505 \quad \text{se adopta} \quad cu = 0.50$$

4. Se calcula la iluminancia media E_m :

$$E_m = \frac{N \cdot \phi_L \cdot cu \cdot fm}{a \cdot l} = \frac{15 \cdot 6000 \cdot 0.50 \cdot 0.80}{7.50 \cdot 8.30}$$

$$E_m = 578 \text{ lux}$$

que significa una iluminancia 2.1% mayor que la del Ejemplo 1.

En forma similar puede encontrarse la reflectancia efectiva de la cavidad piso, utilizando la gráfica de figura 9. Cuando la reflectancia efectiva de la cavidad piso difiere de 20 %, el coeficiente de utilización obtenido de las tablas debe ser corregido; a tal fin puede recurrirse a la Tabla I.

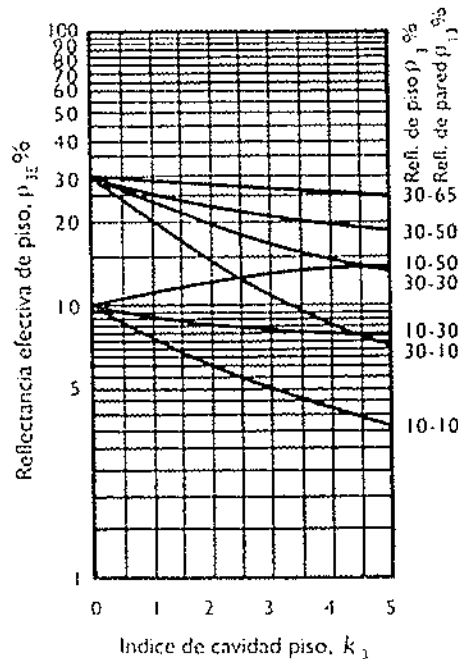


Figura 9

Ejemplo 3:

Para el local de; Ej. 2 se desea calcular la iluminancia media mantenida para una reflectancia de piso igual a 30 %.

1. Se calcula el índice de la cavidad piso:

$$k_1 = k_2 \cdot \frac{h_2}{h_1} = 3.5 \cdot \frac{0.75}{2.75}$$

$$k_1 = 0.95$$

2. Con k_1 , ρ_p y ρ_{t1} se entra en Fig. 9 y se determina ρ_{2e} :

$$\rho_{2e} = 27 \%$$

3. La Tabla I da los factores con los que se debe afectar al coeficiente de utilización cuando se tienen reflectancias efectivas de cavidad de piso iguales a 30 % y 10 %, multiplicando o dividiendo respectivamente, según sea el caso.

Cuando se trata de valores comprendidos entre los correspondientes a 30 % y 10 % se debe interpolar en forma lineal considerando factor 1 para 20 % y multiplicar o dividir según sea la reflectancia efectiva mayor o menor de 20 % respectivamente.

De Tabla I obtenemos:

$$\begin{aligned} 20 \% & \text{ ----- } 1.00 \\ 30 \% & \text{ ----- } 1.05 \\ 27 \% & \text{ ----- } 1 + (1.05 - 1.00) \cdot \frac{7}{10} = 1.035 \end{aligned}$$

4. El nuevo coeficiente de utilización será:

$$cu = 0.50 \cdot 1.035 = 0.517$$

5. La iluminancia media mantenida será en consecuencia:

$$E_m = \frac{N \cdot \phi_L \cdot cu \cdot fm}{a \cdot l} = \frac{15 \cdot 6000 \cdot 0.517 \cdot 0.80}{7.50 \cdot 8.30}$$

$$E_m = 598 \text{ lux}$$

Procedimiento paso a paso

Supuesto elegida la luminaria, su número y distribución en el local considerado, será necesario disponer de la siguiente información para poder establecer la iluminancia media sobre el plano de trabajo:

- a- Tabla de coeficientes de utilización
- b- Dimensiones del local con ubicación del plano de trabajo y del plano de luminarias, según figura 4.
- c- Reflectancias medias de las superficies que limitan el local según figura 4.

Con estos datos, el procedimiento paso a paso es el siguiente:

1. Determinación de los índices k_1 , k_2 y k_3 de las tres cavidades.
2. Obtención de la reflectancia efectiva de la cavidad cielorraso en base a las gráficas de figura 8a y 8b.
3. Obtención de la reflectancia efectiva de la cavidad piso ρ_{2E} de la gráfica de figura 9.
4. Obtención del coeficiente de utilización cu para una reflectancia efectiva de la cavidad piso de 20 % interpolando si fuese necesario con respecto al índice k_1 y/o con respecto a la reflectancia de pared y/o reflectancia efectiva de la cavidad cielorraso.
5. Si la reflectancia ρ_{2E} difiere significativamente de 20 % el coeficiente cu obtenido debe ser afectado por el factor de Tabla I interpolando si fuese necesario.
6. Determinación de la iluminancia media mantenida E_m sobre el plano de trabajo en base a la siguiente fórmula:

$$E_m = \frac{N \cdot \phi_L \cdot cu \cdot fm}{a \cdot l}$$

En la práctica, es más frecuente adoptar la iluminancia media sobre el plano de trabajo y la luminaria, determinando el número necesario para asegurar dicha iluminancia. En tal caso, se seguirá el mismo procedimiento paso a paso, pero en lugar de la ecuación anterior se empleará la siguiente:

$$N = \frac{E_m \cdot a \cdot l}{cu \cdot fm \cdot \phi_L}$$

Tabla I Factores para reflectancias efectivas de cavidad piso 30% y 10%.

Para reflectancia efectiva de cavidad de piso igual a 30 %, multiplicar por el factor apropiado dado en la tabla
Para reflectancia efectiva de cavidad de piso igual a 10 %, dividir por el factor apropiado dado en la tabla.

Reflectancia efectiva de cavidad cielorraso, ρ_{ce} %	80			70			60			50		
Reflectancia de pared, ρ_p %	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10
Índice de cavidad local, k_l												
1	1.08	1.08	1.07	1.07	1.06	1.06	1.05	1.04	1.04	1.01	1.01	1.01
2	1.07	1.06	1.05	1.06	1.05	1.04	1.04	1.03	1.03	1.01	1.01	1.01
3	1.05	1.04	1.03	1.05	1.04	1.03	1.03	1.03	1.02	1.01	1.01	1.01
4	1.05	1.03	1.02	1.04	1.03	1.02	1.03	1.02	1.02	1.01	1.01	1.00
5	1.04	1.03	1.02	1.03	1.02	1.02	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.00
6	1.03	1.02	1.01	1.03	1.02	1.01	1.02	1.02	1.01	1.01	1.01	1.00
7	1.03	1.02	1.01	1.03	1.02	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00
8	1.03	1.02	1.01	1.03	1.02	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00
9	1.02	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00
10	1.02	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.00

Tabla A LUMINARIA TIPO A - 2 x 36 W fluorescente convencional standard

METODO DE LAS CAVIDADES ZONALES																	
REFLECTANCIA DE CAVIDAD DE CIELORRASO %	80				70				60			50			40		
REFLECTANCIA DE PARED %	70	50	30	10	70	50	30	10	50	30	10	50	30	10	50	30	10
INDICE DE LOCAL	COEFICIENTES DE UTILIZACION																
1	0.70	0.68	0.65	0.64	0.68	0.66	0.64	0.62	0.64	0.62	0.60	0.61	0.60	0.59	0.59	0.58	0.57
2	0.65	0.61	0.57	0.54	0.63	0.59	0.56	0.54	0.57	0.54	0.52	0.55	0.53	0.51	0.53	0.51	0.45
3	0.60	0.54	0.50	0.46	0.59	0.53	0.49	0.46	0.51	0.48	0.45	0.50	0.47	0.44	0.48	0.46	0.44
4	0.55	0.49	0.44	0.40	0.54	0.48	0.43	0.40	0.46	0.42	0.39	0.45	0.41	0.39	0.44	0.41	0.38
5	0.51	0.44	0.38	0.34	0.50	0.43	0.38	0.34	0.41	0.37	0.34	0.40	0.36	0.34	0.39	0.36	0.33
6	0.47	0.39	0.34	0.30	0.46	0.39	0.34	0.30	0.37	0.33	0.30	0.36	0.33	0.30	0.36	0.32	0.29
7	0.43	0.35	0.30	0.27	0.42	0.35	0.30	0.26	0.34	0.29	0.26	0.33	0.29	0.26	0.32	0.29	0.26
8	0.40	0.32	0.27	0.23	0.39	0.31	0.26	0.23	0.30	0.26	0.23	0.30	0.26	0.23	0.29	0.25	0.23
9	0.37	0.29	0.24	0.20	0.36	0.28	0.23	0.19	0.28	0.23	0.20	0.27	0.23	0.20	0.26	0.22	0.20
10	0.34	0.26	0.21	0.18	0.33	0.26	0.16	0.16	0.25	0.21	0.18	0.24	0.20	0.18	0.24	0.20	0.17
RELACION ESPACIAMIENTO / ALTURA DE MONTAJE = 0.4															REFLECTANCIA DE CAVIDAD PISO=20%		

CONSULTA BIBLIOGRÁFICA

- [1] B. F. Jones, J. R. Jones: A Versatile Method of Calculating Illuminating and Brightness, Illuminating Engineering, Vol. LX, N° 2, pág. 113, 1959.
- [2] Lighting Design Practice Committee of the Illuminating Engineering Society: Zonal Cavity Method of Calculating and Using Coefficients of Utilization, Illuminating Engineering, Vol. LIX, N° 5, pág. 309, 1964.
- [3] B. F. Jones, J. R. Jones: Using the Zonal Cavity System in Lighting Calculations, Illuminating Engineering, Vol. LIX, N° 7, pág. 501, 1964.
- [4] J. R. Jones, B. F. Jones: Using the Zonal Cavity System in Lighting Calculations, Illuminating Engineering, Vol. LIX, N° 6, pág. 449, 1954.
- [5] IES Advanced Lighting Problems Course - Illuminating Engineering Society (IESNA) 1971.

Para qué preocuparse, si Verona Inteligente lo hace todo por ud.

Hoy no tiene por qué preocuparse por ciertos olvidos o descuidos involuntarios como conectar la alarma, cerrar las ventanas, apagar o prender las luces cuando sale de su casa. **VERONA INTELIGENTE** lo hace todo por ud.

UNIDAD DE ALIMENTACION Artículo UA152
Entrada: 220V. 50Hz. — Salidas: 12Vcc. 1A. — Bat. 12Vcc. 50mA.
INDUSTRIA ARGENTINA

UNIDAD CENTRAL Artículo UC151
> JELUZ VERONA <
05/04/2001 21:56
CANCEL ENTER
INDUSTRIA ARGENTINA

UNIDAD REMOTA Artículo UR153
Entrada: 220V. 50Hz. — Salidas Aux. 220V.
Max. Carga por Salida 10A. Resistivos
Max. Carga Total 10A. Resistivos
INDUSTRIA ARGENTINA

- Simulación de presencia.
- Doble pulsación
- Accesibilidad total
- Interruptor horario
- Secuenciador de cámaras
- Alarmas
- Reloj solar
- Automatización
- Estadísticas
- Control remoto
- Control de accesos
- Fácil programación



**CURSOS DE DOMOTICA
Y SISTEMAS DE SONIDO
PARA INSTALADORES**

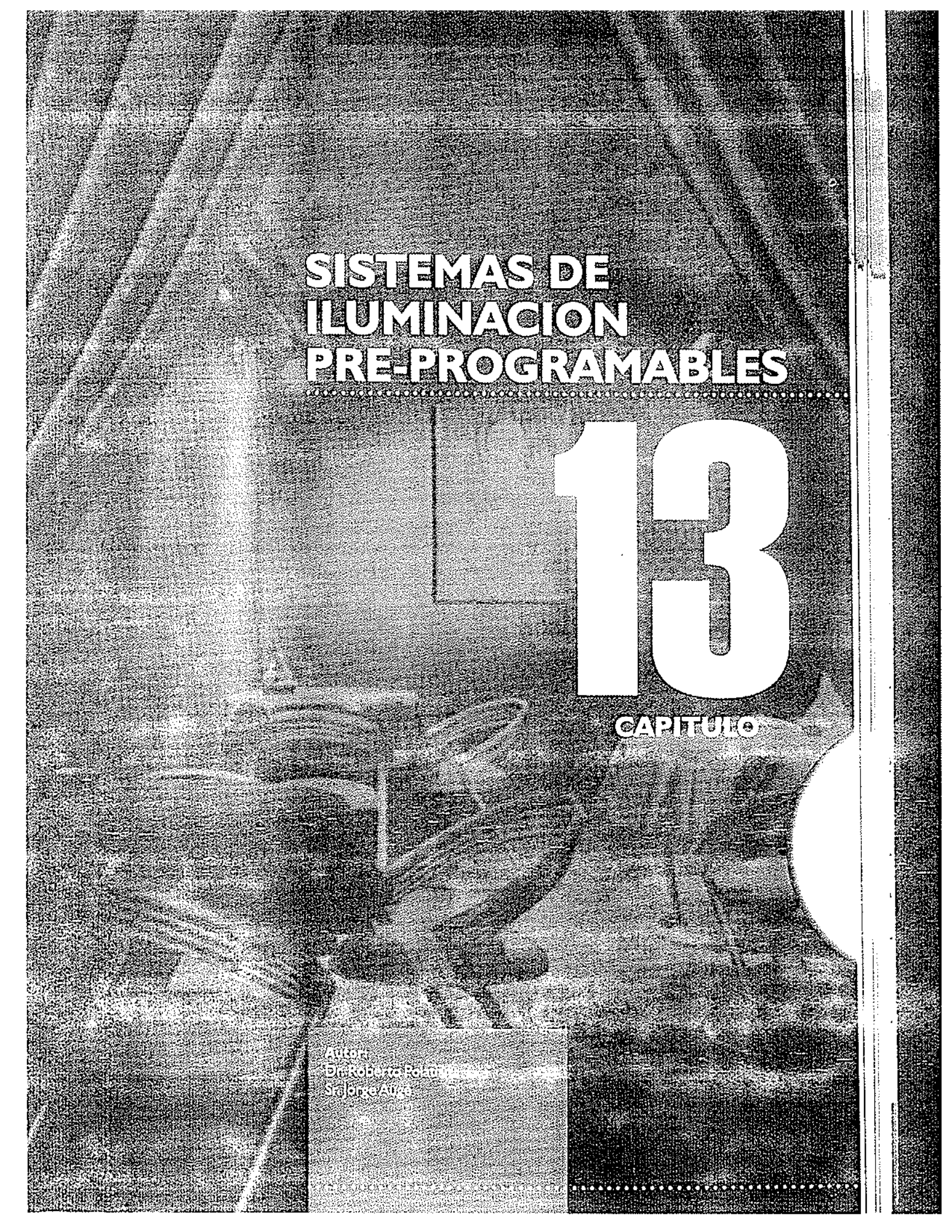
Informes:

Tel.: 4286 - 8446 y Lineas Rotativas
e-mail: jeluz@cano.com.ar

PRODUCIDOS
EN ARGENTINA

VERONA
Inteligente
La Vivienda del Mañana... Hoy

CONFIABILIDAD SIN RIESGOS



SISTEMAS DE ILUMINACION PRE-PROGRAMABLES

13

CAPITULO

AUTORES

Dr. Roberto Polanco
Sr. Jorge Aúga

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

INTRODUCCION

El avasallador avance tecnológico, al que asistimos casi atónitos, y con capacidades de reacción disímiles, nos ha dado en lo referente al **control lumínico programado**, claras muestras de estar acorde a las demás ramas de la tecnología. Tan es así, que actualmente disponemos de controles remotos inalámbricos, para convocar escenarios o programas de iluminación, previamente almacenados en la memoria de un micro-procesador diminuto.

En otras palabras, ya ni tenemos que estar todos los días regulando un dimmer, para tratar de recordar cual fue la intensidad optima, en el día anterior. Y no solo un dimmer, sino que se pueden programar escenarios, que involucre 2, 3 4, 6, 10... o la cantidad de efectos o grupos de luminarias que se desee.

Si a esto le agregamos, que también podemos interactuar con otros sistemas tecnológicamente compatibles, como audio, video, seguridad, etc, entonces tendremos un panorama más completo sobre cuál es el nivel de tecnología alcanzado en nuestros días.

Este trabajo pretende, brindar una primera aproximación a este nuevo concepto en el manejo de los sistemas de Home Automation, conocidos como **SISTEMAS INTEGRADOS DE AUTOMATIZACION PROGRAMABLE**.

I PROPIEDADES DEL SISTEMA

Capacidad de interacción

Los Sistemas Integrados de Automatización Programable están diseñados con capacidad para interactuar directamente con los subsistemas de audio, video, riego y otros que hubiera en la casa. En una aplicación típica, los botones de un teclado de éste producto controlarán un sistema de audio que abarca múltiples ambientes audio distribuido. El sistema también puede conectarse a otros equipos mediante entradas y salidas de contactos, controles infrarrojos y comunicaciones en serie RS-232/485 y contacto seco.

Protección en caso de falla

En el improbable caso de falla de un procesador, los controles locales de iluminación de éste sistema siguen funcionando plenamente. Los tableros de atenuación tienen capacidad de control manual prioritario, el cual puede activarse desde un lugar preestablecido de la casa.

Lógica condicional

El Sistema Integrado de Automatización Programable proporciona la capacidad de condicionar los eventos del sistema. Por ejemplo, los detectores del acceso al garaje pueden programarse para que enciendan las luces exteriores si, y sólo si, está oscuro. En otro ejemplo, un mismo botón de "Cena" de un teclado podría activar distintas condiciones de luz y tipos de música basándose en: la hora o situaciones como desayuno, almuerzo o cena.

Homogeneidad estética

Todos los teclados, controles del sistema y controles locales se complementan entre si con respecto a color, estilo y acabado. También se accede a una línea completa de placas de pared, tomas de corriente, y salidas del sistema. Estos controles pueden ser terminados a pedido según color de la pintura, el empaquetado o la decoración de la casa.

Reloj astronómico

Asimismo el Sistema Integrado de Automatización Programable permite que los eventos ocurran automáticamente a determinadas horas de día, o bien a una cierta hora respecto de la salida o puesta del sol.

Se pueden programar diversas alternativas, con el fin de habilitar distintos eventos en días laborales, fines de semana o feriados. Los programas también pueden ser habilitados o inhabilitados desde los teclados. Además, cualquier evento horario puede programarse en forma condicional, de modo que sólo ocurra si se da una condición específica.

Interfase telefónica

Mediante una Interfase Telefónica especial, el dueño de casa puede acceder y controlar hasta nueve diferentes funciones o eventos desde cualquier teléfono con discado de tono. La Interfase Telefónica usa mensajes de voz personalizados para guiar al usuario en cada paso y envía una respuesta verbal positiva cuando la función o evento es activado. Esta característica también puede utilizarse a través de los teléfonos de la misma casa.

Modo de seguridad

El Sistema Integrado de Automatización Programable puede ser conectado a un sistema de seguridad para activar las luces en caso de alarma. Las luces seleccionadas se encenderán a un nivel predeterminado de seguridad, o bien se encenderán en forma intermitente, para llamar la atención. El Modo de Seguridad también se puede activar manualmente desde un teclado.

Modo de vacaciones

El Sistema Integrado de Automatización Programable registra constantemente el estado de todos los dispositivos del sistema. Cuando se activa el Modo de Vacaciones, el sistema repite los eventos, con el fin de simular una apariencia de actividad real cuando la casa está deshabitada. El sistema puede programarse para grabar las actividades del último día, de la última semana o de las dos últimas semanas.

Memoria en caso de cortes de energía

Los componentes de este sistema se diseñan con una memoria de 10 años para casos de corte de energía. Si ésta se interrumpe y luego se restaura, las luces volverán automáticamente a los niveles a los cuales estaban ajustadas antes de la interrupción. La programación del sistema está almacenada en una memoria no volátil y no se verá afectada por los cortes de luz.



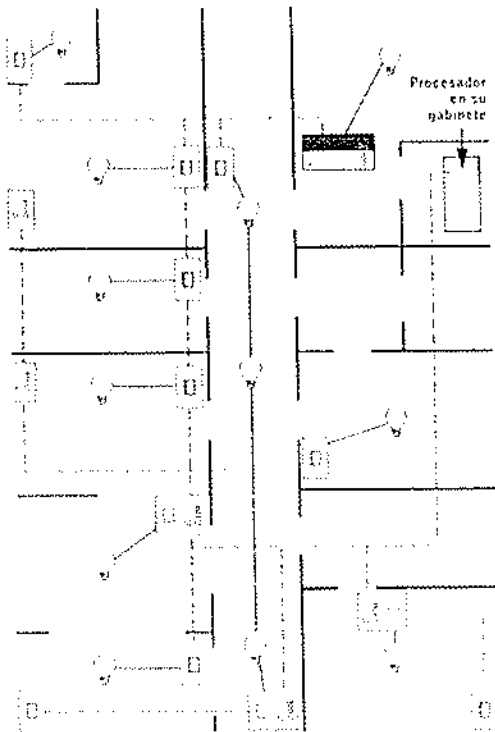
Facilidad de diseño y programación

Con el software de diseño y programación del Sistema Integrado de Automatización Programable, es muy sencillo de diseñar y trazar un sistema, y usar una computadora en Windows 95, Windows 98 o Windows NT para programar las funciones de los distintos botones de los teclados. Como toda la información queda almacenada en una única base de datos, cualquier cambio de diseño se puede hacer fácilmente e incorporar a los documentos en forma automática.

2 DISEÑO DEL PROYECTO

Opciones de diseño

El Sistema Integrado de Automatización Programable es el único que ofrece al diseñador la opción de utilizar sólo controles locales (*diseño centralizado*) o un diseño optimizado que combine ambas tecnologías. Cada uno de estos diseños tiene ventajas propias y el diseñador debe determinar cuál se adapta mejor a cada instalación. A continuación se destacan las ventajas de cada tipo de diseño, así como ciertos puntos que deben considerarse en el concepto inicial del sistema.



2.1. Diseño localizado

Un diseño localizado utiliza controles de pared de éste sistema, para controlar directamente todas las cargas luminicas. Una de las ventajas de este tipo de sistema es que el dueño de casa lo comprende fácilmente, ya que las cargas luminicas individuales se controlan de manera similar al control con atenuadores e interruptores tradicionales.

Además del control local necesario para cada carga, se añaden teclados con el fin de controlar múltiples luces en una zona determinada o todas las luces de la casa. En este diseño, los teclados se instalan típicamente en lugares como pasillos de entrada, dormitorio principal y las principales áreas de recepción.

Los atenuadores e interruptores locales de pared permiten que el dueño de casa atenúe y conmute cargas directamente.

De esta forma, proporcionan protección en caso de falla "Fail-safe", aún cuando se interrumpan temporalmente las comunicaciones con el procesador. Como usa el mismo cableado de línea que una casa sin sistema control, el diseño localizado es la única configuración realmente compatible con un precableado para el control de toda la casa. Este diseño es ideal para el dueño que quiere tener la opción de añadir un sistema de control en el futuro.

Diseño localizado - resumen:

- Controles Sencillos, operación conocida.
- Los controles locales pueden funcionar en forma independiente del resto del sistema. Con esto se logra la mejor protección en caso de falla.
- Capacidad de precableado permite añadir un control para toda la casa sin hacer cambios en el cableado de línea.

2.2. Diseño centralizado

Un diseño centralizado elimina todos los controles locales y utiliza Módulos de Potencia Remotos para controlar todas las cargas luminicas. Estos módulos se encuentran en Tableros de Potencia Remotos, que se instalan en una sala de equipos o armario de componentes eléctricos.

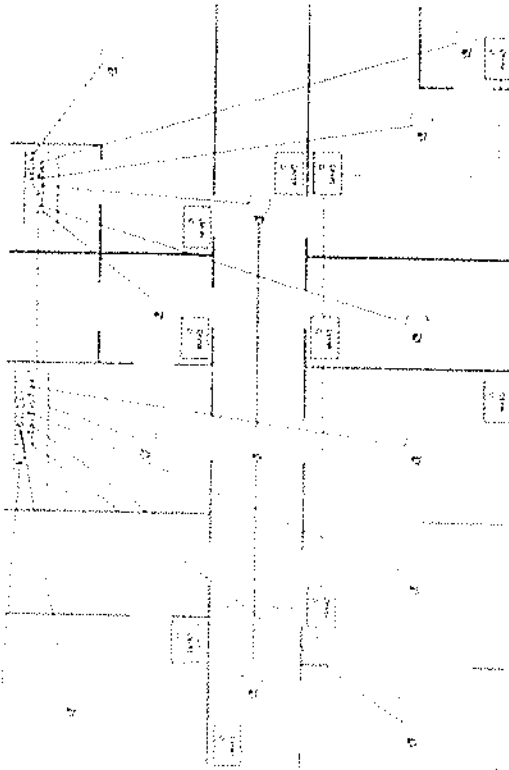
En este tipo de diseño, todas las luces se controlan desde los teclados y se obtiene máxima flexibilidad de control con un uso mínimo de espacio de pared. Como todos los controles de pared son teclados, cualquiera de ellos puede realizar cualquier función, desde controlar una sola luz hasta controlar toda la casa.

Los Módulos Remotos, instalados en los Tableros Remotos, son compatibles con una gran variedad de cargas de atenuación y reducen la necesidad de un amplificador de potencia o interfase especial.

Este diseño no contempla controles luminicos locales pero, en caso de interrupción de potencia o comunicaciones con el procesador, se puede activar una escena preprogramada mediante una función prioritaria.

Diseño centralizado - resumen

- Reduce al mínimo el uso de espacio en la pared.
- Reduce la necesidad de amplificadores de potencia o interfases.
- Permite una flexibilidad de programación infinita en todos los controles de pared.



2.3. Diseño optimizado

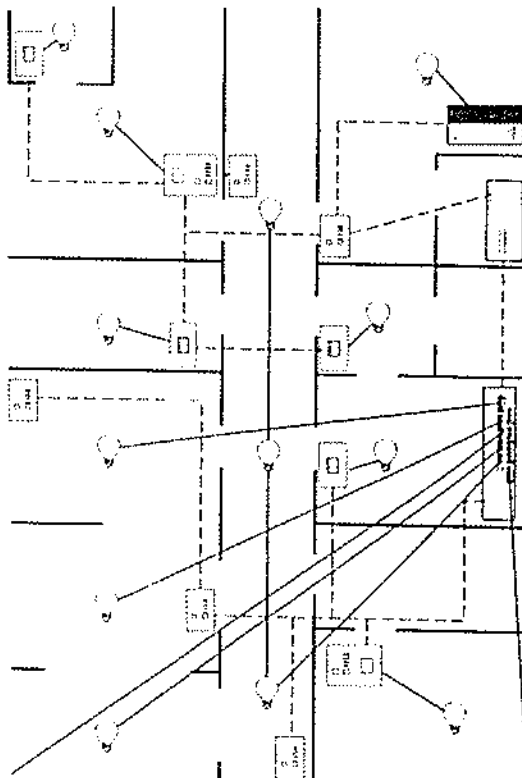
El exclusivo diseño "optimizado" que se logra con el Sistema Integrado de Automatización Programable, combina las ventajas de los sistemas centralizado y localizado. Típicamente se usan controles luminicos locales en los cuartos de huéspedes, baños y cualquier otra área donde se deseen controles sencillos y conocidos.

En cambio, las cargas luminicas de vestíbulos, salas de estar y otras áreas de recepción se conectan a Tableros Remotos, con lo cual se logra reducir el número de dispositivos en las paredes de estos lugares importantes. Los teclados se distribuyen en toda la casa, para tener control de múltiples cuartos o de toda la casa desde donde se desee. Este diseño también permite cambios, tanto en la etapa de diseño como después de hincada la construcción, ya que se pueden añadir o eliminar luces sin modificar el plan de cableado de línea.

Con este diseño, las áreas precableadas de la casa pueden incorporarse, fácilmente al sistema en el futuro.

Diseño optimizado - resumen

- Operación sencilla, controles conocidos.
- Reduce al mínimo el número de dispositivos en la pared.
- Reduce la necesidad de amplificadores de potencia o interfases.
- Compatible con precableado.
- Máxima flexibilidad de programación y protección en caso de fallas.



Perspectiva general del sistema

Teclados

- Proporcionan control sencillo y conveniente de las cargas luminicas y otros sistemas de la casa a través de conexiones de bajo voltaje.
- Cada botón puede programarse para numerosas funciones, desde controlar la luz de una habitación a seleccionar escenas preajustadas en toda la casa y el jardín.

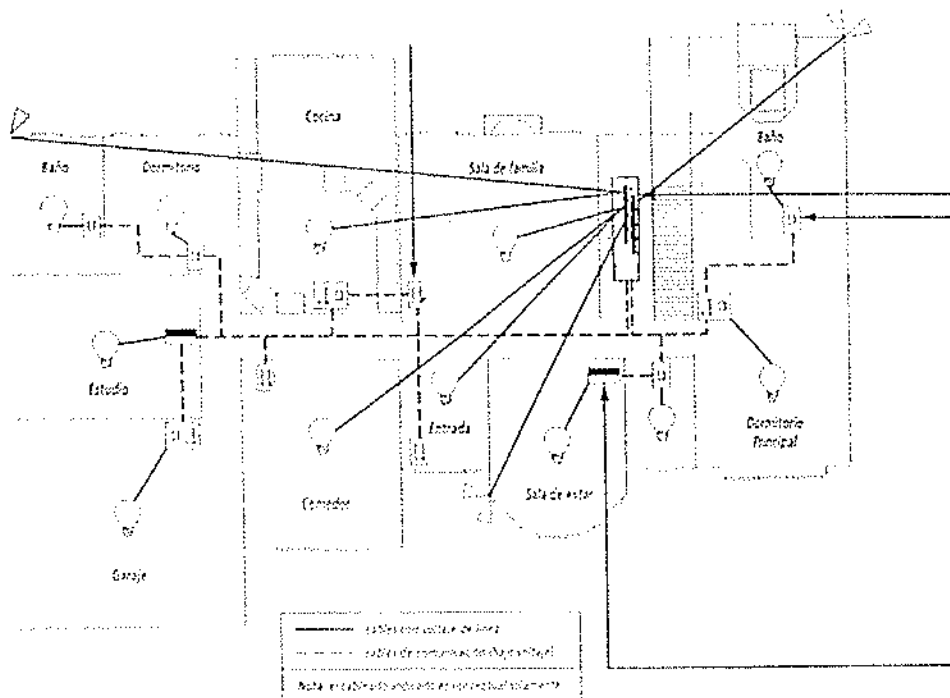
Controles combinados

- Para obtener una apariencia homogénea y elegante, los teclados y los controles locales estilo Vareo se pueden combinar en una placa común.
- Usando placas de pared especiales, los teclados Sistema Integrado de Automatización Programable se pueden combinar con los controles de otros fabricantes.

Módulos de potencia remotos (RPM)

- Diseñados para controlar cargas luminicas y motores directamente a través de teclados que reemplazan a los controles locales de una habitación o área.

Los RPM ayudan a reducir o eliminar la cantidad de dispositivos en las paredes porque permiten controlar las cargas luminicas sin atenuadores ni interruptores en las paredes.



Procesador

Centro de comunicaciones del Sistema Integrado de Automatización. Cada procesador de este sistema, puede controlar hasta 256 zonas. Cada procesador tiene seis enlaces de comunicaciones. Tres de dichos enlaces pueden configurarse individualmente para controlar:

- Hasta 32 teclados.
- Hasta 192 controles de iluminación locales.
- Hasta 8 controles de iluminación locales preajustados.

En un mismo sistema se pueden interconectar hasta 16 procesadores.

Controles locales de iluminación estilo single

Se usan en lugar de los atenuadores o interruptores comunes para obtener control sencillo y local de una luz o grupo de luces en ambientes desde los cuales no se requiere controlar otros sectores de la casa. El microprocesador integral, permite controlar las unidades estilo Single localmente (desde el atenuador o interruptor), centralmente a través de teclados o automáticamente, mediante el reloj del sistema.

Otras opciones

Controles locales de iluminación

Proporcionan control de escena local y prefijado, en hasta 6 zonas de iluminación. Se utilizan típicamente para controlar las luces de una habitación o área desde la cual no se requiere controlar otros sectores de la casa. El microprocesador integral permite controlar las unidades localmente (desde el atenuador o interruptor), centralmente a través de teclados o automáticamente, mediante el reloj del sistema.

Sistema de gestión de iluminación

Además de los sistemas de control con aplicación en viviendas unifamiliares, existen también sistemas de aplicación en la gestión de iluminación para complejos de oficinas, supermercados, aeropuertos, industrias que apuntan o se diseñan para cumplir tres premisas básicas:

- Ahorro de energía
- Flexibilidad
- Confort

- **Ahorro de energía** porque apunta a reducir el consumo de energía eléctrica, por motivos principalmente de impacto ambiental, ya que en cualquier edificio de oficinas, industria, etc., la iluminación representa el 30% del consumo total de energía eléctrica.
- **Flexibilidad** porque apunta a que la arquitectura del sistema sea lo más flexible posible, permitiendo atender las demandas actuales de variaciones del layout de la planta que se está iluminando.
- **Confort** porque además de proveer una iluminación flexible y orientada hacia el ahorro de energía, también atiende las necesidades de confort de los usuarios finales que son los que interactúan con el sistema de iluminación una vez que ya ha sido instalado.

Principios del sistema

La tecnología de punta de estos sistemas y su sofisticado software de aplicación ofrecen ventajas de gran alcance para diversos usuarios. El propietario del edificio consigue gastos de explotación más bajos, reduciendo el consumo de energía hasta en un 75%. Los consultores de iluminación utilizan el concepto, para ahorrar tiempo y reducir riesgos durante la fase de planificación. Y los instaladores quedan libres de limitaciones físicas, al planificar las topologías del bus y conectar los dispositivos de la red. Los diseñadores de iluminación utilizan el software de aplicación, para conseguir funciones de iluminación mejoradas y los integradores de sistemas utilizan su protocolo de bus abierto para integrar la iluminación con otros servicios del edificio. Los jefes de instalaciones, o los operadores del sistema, utilizan su potente interfaz gráfica de usuario para interaccionar con los componentes del sistema, mientras que los usuarios adquieren el control total de su entorno de trabajo, con el control remoto infrarrojo de iluminación, persianas y HVAC (*Heating, Ventilation and Air Conditioning*).

Descripción del sistema

Se trata de un sistema de sensores inteligentes y controladores, que se comunican a través de un bus de comunicaciones y alimentación, sin necesidad de un controlador central. El sistema se diseña, es configurado, se maneja y mantiene, por medio de un software, totalmente gráfico de PC, planos importados y uno, o más paquetes de aplicaciones de software. El protocolo abierto de comunicaciones está, basado en la tecnología LonWorks™ de Echelon, es utilizado cada vez más frecuentemente por diversos proveedores líderes de servicios de edificios. Debido a que se ajusta a las reglas de compatibilidad, se integra fácilmente con otros servicios compatibles en edificios inteligentes. La compatibilidad también permitirá a los contratistas adoptar una estrategia de proveedores múltiples, para los componentes del sistema. Los dispositivos del sistema son de tres clases.

Sensores

Son piezas tales como, receptores infrarrojos, detectores de movimiento y fotocélulas, que reciben y transmiten mensajes de estado al bus.

Controladores, Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado.

Tales como los controladores de luz, que traducen los mensajes de estado en funciones de salida.

Dispositivos genéricos de red

Tales como los routers, repetidores, unidades de alimentación del bus, tarjetas de interfaz de PC-bus y cables de bus, que gestionan y transportan los mensajes a lo largo del bus. ■

Dexel
Lighting

SISTEMAS DE ILUMINACION

TEATRO

Arquitectura

Estudios de
TV y Cine

Consolas y
Dimmers

Para control de iluminación

AV. General Paz 1100 - 11440 Buenos Aires, Argentina
Tel.: (5411) 4667-8861 Fax: (5411) 4667-7550
e-mail: sales@dexel.com • www.dexel.com

SERIES
Litec

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas



ILUMINACION DE ESTUDIOS DE TV

14

CAPITULO

Autor
Dr. Marcelo Ruiz Diaz

I TECNICAS DE ILUMINACION PARA LA TELEVISION

Las técnicas de iluminación indican qué instrumento emplear y la forma de ajustarlo para lograr el efecto de iluminación deseado. En la mayoría de las producciones, el espacio disponible, el tiempo y el personal son insuficientes para lograr una iluminación de calidad cinematográfica. Por ejemplo, si se cuenta con poco tiempo para iluminar, la solución es inundar el estudio o locación con una luz altamente difusa, sin importar la naturaleza del acontecimiento. A pesar de que esta técnica puede satisfacer al operador de la cámara y tal vez al de video, este no siempre satisface los requerimientos estéticos de la producción. Por ejemplo, si se considera la iluminación de una escena dramática que debiera escenificarse en una esquina oscura de la calle, no será convincente si todo se ilumina de forma brillante y uniforme mediante el empleo de luces suaves. Por otra parte, no existe motivo para consumir gran cantidad de tiempo en la elaboración de una iluminación dramática si se van a grabar noticieros o entrevistas. En estos casos la iluminación uniforme es satisfactoria. Las limitaciones de tiempo no deben impedir que se busque una iluminación eficaz y creativa para la televisión; más bien exigen el entendimiento de los principios básicos de la iluminación y, especialmente, de la planeación previa.

Iluminación es la acción de controlar las luces y las sombras para mostrar la forma y la textura de un rostro o un objeto, sugerir un ambiente particular o, como sucede con la música, crear una atmósfera. Ya sea que se ilumine para una producción dramática o de otro tipo, existen muchas soluciones para un mismo problema. A pesar de que no hay una receta universal que funcione por igual para todas las situaciones de iluminación posibles, se cuenta con principios básicos para adaptarse fácilmente a una gran variedad de requerimientos específicos al enfrentar una tarea de iluminación, no conviene comenzar observando las limitaciones, sino más bien, aclarando qué iluminación se desea, para después adaptarse a las facilidades técnicas existentes y, sobre todo, al tiempo disponible.

Tipos de Iluminación

Cualquiera que sea el objetivo de la iluminación, es necesario trabajar con dos tipos de luces: *direccional* y *difusa*.

La *luz direccional* generada por luces directas que iluminan áreas relativamente pequeñas, tiene un haz de luz muy marcado que produce sombras densas y bien definidas. El sol de un día claro y sin nubes actúa como un gigantesco spotlight que produce sombras densas y definidas.

La *luz difusa* ilumina áreas relativamente grandes a través de un haz amplio y poco definido. Se produce por medio de las luces difusas o floodlights, las cuales generan sombras suaves y transparentes. El sol de un día nublado actúa como una luz difusa ideal, ya que las nubes transforman los severos rayos del sol en luz altamente difusa.

Fuentes Principales de Iluminación

La terminología que se emplea para la iluminación se basa, en las funciones y en la posición de los instrumentos en relación al objeto que se iluminará, y no tanto en si la luz proporcionada por ellos es directa o difusa.

■ ***Tipos de Instrumentos de Iluminación***

Aunque existen variantes para los siguientes términos, casi todo el personal de iluminación de televisión, incluyendo al de la fotografía, utilizan la misma terminología standard:

- **Luz Clave:** Luz principal proveniente de una fuente de iluminación direccional que incide sobre un sujeto o área; permite distinguir la forma básica del objeto.
- **Luz trasera o Contraluz:** Es la iluminación proveniente de atrás, dirigida al sujeto y opuesta a la cámara; permite distinguir la sombra del objeto del fondo y refuerza el contorno del objeto.
- **Luz de relleno:** La que reduce el rango de contraste de la sombra. Puede ser direccional si el área por rellenar es muy limitada.
- **Luz de fondo o de escenografía:** Se emplea para iluminar el fondo o la escenografía y se maneja por separado de la iluminación de los ejecutantes o del área de actuación.
- **Luz lateral:** Se coloca a un lado del sujeto, por lo general opuesta a la luz principal de la cámara. Algunas veces se emplean dos luces laterales, una a contra la otra, para lograr efectos especiales sobre un rostro que se ilumina.
- **Luz de retroceso:** Iluminación direccional proveniente de la parte trasera. Se coloca un poco del lado del sujeto, usualmente colocada en un lado opuesto a la luz principal.

La luz trasera sólo proporciona luces intensas a la parte posterior de la cabeza y los hombros; la luz de retroceso proyecta luces intensas que definen un lado entero del elenco, produciendo el efecto de estar este separado del fondo.

Funciones de las fuentes principales de iluminación

Luz clave: Como fuente principal de iluminación, la función fundamental de la luz clave es revelar la forma básica del sujeto. Para lograrlo, la luz clave debe producir algunas sombras. Por lo general las luces directas *Fresnel*, en la posición de dispersión media, se emplean como iluminación clave. También pueden ser utilizados otros proyectores abiertos.

Si se desean producir sombras suaves se puede emplear luz difusa. No obstante, cuando no se cuentan con luces suaves, algunos directores de iluminación utilizan una fórmula de los fotógrafos y cineastas, utilizar reflectores para conseguir la luz clave y la de relleno. En lugar de difundir ambas luces mediante el empleo de materiales difusores, la luz clave (*fresnels*) no se dirige directamente al sujeto, sino que se hace rebotar sobre una plancha de tergo por o cartón blanco grande.

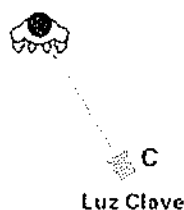
Durante el día la fuente de iluminación principal, el sol, proviene de arriba, por ello la luz clave es colocada normalmente en la parte superior y en el lado derecho o izquierdo del frente del objeto, desde el punto de vista de la cámara.

Para hacer más clara la delineación y la textura de la imagen del sujeto, es necesario agregar otras fuentes de iluminación a la luz clave.

Luz trasera o Contraluz: Agregar iluminación proveniente de la parte posterior ayuda a separar al sujeto del fondo. El contraluz permitirá delinear y remarcar el contorno de la imagen del sujeto iluminado, lo que significa que se podrá percibir con facilidad una figura frente a un fondo. Además de proveer definición espacial, la luz trasera agrega resplandor y refinamiento profesional.

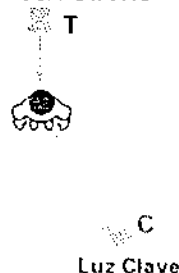
En general, es recomendable colocar la luz trasera tan atrás del sujeto como sea posible; no existe ventaja alguna al colocarla de lado. Lo que sí representa un problema grave, es lograr el control del ángulo vertical mediante el cual la luz trasera incide sobre el sujeto. Si ésta se coloca directamente sobre la persona o en algún lugar cercano, la luz trasera se convierte en una indeseable luz superior.

LUZ CLAVE



LUZ CLAVE Y
LUZ TRASERA

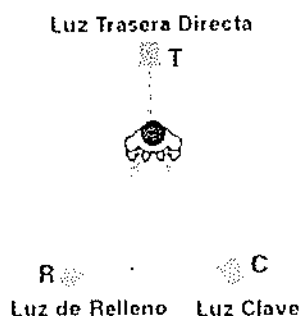
Luz Trasera Directa



En lugar de revelar el contorno de la persona y hacerla destacar del fondo al proporcionarle destellos al cabello, simplemente brilla sobre la cabeza, provocando sombras densas bajo los ojos y la barbilla. Por otra parte, si la luz trasera se coloca demasiado baja, brilla en dirección a la cámara.

Para obtener una buena iluminación trasera en el foro, es necesario un espacio amplio entre las áreas de actuación y el escenario de fondo. También se requiere colocar el mobiliario activo (*utilería o artículos con los que el elenco interactúa*), como sillas, mesas, sillones o camas, lejos de las paredes cuando menos a 2 ó 3 metros hacia el centro del escenario. Si el elenco trabaja muy cerca de la escenografía, las luces traseras deben inclinarse para alcanzar ángulos muy empinados y cubrir los planos, lo cual causa una luz superior indeseable.

LUCES CLAVE, TRASERA Y DE RELLENO



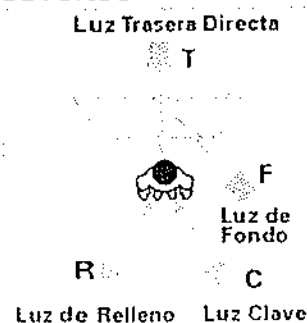
Luz de relleno: Declinación o falloff significa la dispersión (grado) por medio de la cual la porción iluminada de una imagen se transforma en área de sombras. Si el cambio es repentino, se la llama declinación rápida. Mediante una declinación rápida, tratándose de la iluminación de un sujeto, el lado oscuro del rostro del mismo es lo bastante denso como para que la cámara obtenga algún detalle en la sombra. Para aminorar la declinación, es decir, hacer la sombra menos marcada y transparente, es necesario emplear una luz de relleno.

No es de sorprender que una luz de relleno se coloque en el lado opuesto de la luz clave de la cámara. Por lo general, se usa con este propósito la luz difusa o la luz reflejada. Mientras más luz de relleno se utilice, más lenta será la declinación. Cuando la intensidad de la luz de relleno se acerca o se equipara a la luz clave, las sombras y con ellas la declinación, virtualmente se eliminan. Así, el sujeto adquiere una apariencia plana y las sombras ya no ayudan a definir la forma ni la textura.

Cuando se realiza una iluminación crítica en un área específica y se pretende evitar que la luz de relleno se disperse demasiado sobre otras áreas del escenario, puede emplearse una luz suave Fresnel como relleno, dispersando su haz lo más posible y utilizando las viseras (*barndoors*).

Con las tres fuentes de iluminación principales en posición de triángulo, se establece el principio básico de la fotografía para la televisión. Pero no se ha completado el trabajo. Aún falta perfeccionar el arreglo de la iluminación. Para ello es necesario efectuar una mirada crítica al objeto iluminado y, de ser posible, al monitor del estudio para observar si la escena requiere todavía de mayores ajustes para alcanzar la óptima iluminación. ¿Existen sombras indeseables o que más que revelar distorsionen el objeto? ¿Cómo está el balance de la luz? ¿Acaso la luz de relleno deslava las sombras necesarias? ¿Las sombras permanecen todavía muy densas? ¿Es demasiado fuerte la combinación de las luces clave y de relleno para la cantidad de luz que proporciona la luz trasera?

ADICION DE LA LUZ DE FONDO



Luz de fondo o de escenografía: La luz de fondo, llamada también, luz de escenografía, se emplea para iluminar el fondo (ciclorama) del escenario o zonas fuera del área principal de actuación. Para que las sombras del fondo incidan sobre el mismo lado que las de la persona o el objeto que se encuentra frente a éste, esta luz debe llegar hasta el fondo mismo, desde la misma dirección que la luz clave. Como se podrá ver en la ilustración, la luz clave está ubicada al lado derecho de la cámara, lo cual provoca que las sombras caigan sobre el sujeto al lado izquierdo de la cámara. En consecuencia, la luz de fondo también debe ser colocada en el lado derecho de la cámara, para que las luces que en la cámara se ven del lado izquierdo correspondan a las del primer plano.

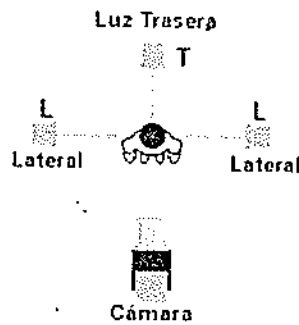
Si la luz de fondo se coloca contra la luz clave, el observador puede suponer que la escena ha sido iluminada con distintas fuentes de iluminación, o peor todavía, que existen dos soles en nuestro sistema solar.

Con frecuencia la luz de fondo va más allá de la función de soporte y juega un papel más importante en la producción. Además de acentuar el fondo, que de otra forma sería aburrido y monótono, si se dibuja un haz de luz sobre éste o se le proyecta un gobo con un diseño interesante, puede proporcionar indicadores importantes al programa sobre el sitio, la hora del día y la atmósfera. Por ejemplo, una proyección de un gobo que simule los barrotes de una cárcel sobre el ciclorama, en combinación con el ruido metálico de las puertas de una celda, ubica el acontecimiento en una prisión.

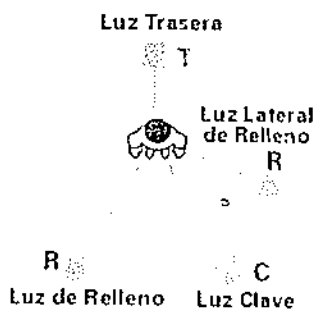
Una franja larga de luz o sombras extendidas que caen a lo largo del muro trasero en una escenografía interior, sugieren que la acción sucede en la tarde o al anochecer. Por lo general, los fondos oscuros y las sombras distintivas sugieren una escena *clave baja* (fondo oscuro con iluminación selectiva de rápida declinación) y una atmósfera dramática o misteriosa. Por su parte, un fondo iluminado y una iluminación básica general de nivel alto crean una escena *clave alta*, con una atmósfera rítmica y alegre. Esta es la razón por la cual se iluminan las comedias con mucha mayor cantidad de luz (niveles de iluminación básica más altos y menor contraste) que los dramas de misterio (niveles de iluminación más bajos y con mayor contraste). Es importante no confundir *clave alta* o *clave baja* con la posición en que se suspende la luz clave, verticalmente más arriba o más abajo, ni con la intensidad a la que se enciende.

Si lo que se efectúa es una iluminación de fondo normal en el interior de un escenario, conviene mantener la parte superior del mismo más bien oscura, sólo con la mitad o las porciones inferiores (de las paredes) iluminadas. Los motivos de esta práctica común de iluminación resultan obvios. Primero, casi toda la iluminación que se efectúa en interiores se diseña para que la acción se lleve a cabo en áreas de trabajo bajas en lugar de que se realice en las partes altas de las paredes. Segundo, las cabezas de los actores contrastan mejor contra un fondo ligeramente oscuro. Demasiada luz en las alturas puede provocar efectos tipo silueta, que dan al rostro un tono oscuro poco usual. Por otra parte, el mobiliario y el vestuario de tonos medios u oscuros se distinguen de forma agradable sobre un escenario cuyo fondo está más iluminado en la porción baja.

LUZ LATERAL



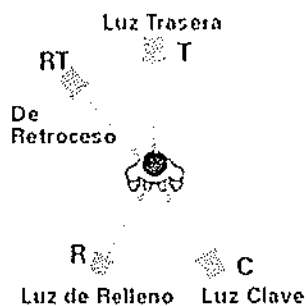
INSTALACION DE LA LUZ LATERAL DE RELLENO



Luz lateral: Por lo general se coloca a un lado del sujeto y puede funcionar también como luz clave o de relleno. Cuando se emplea como luz clave, produce una declinación rápida y provoca sombras densas en la mitad del rostro; cuando se emplea como de relleno, ilumina por completo el lado sombreado del rostro. Sin embargo, si se usa como clave y de relleno desde sitios opuestos, ambos lados del rostro se verán brillantes y el frente permanecerá sombreado. Si se emplean de modo apropiado, tal efecto puede resultar bastante dramático.

La luz lateral se convierte en una fuente de iluminación esencial cuando el arco de la cámara es muy amplio. Por ejemplo, si la cámara se mueve alrededor del sujeto (*de la posición de las 6 a las 10 horas en el reloj*) la luz lateral asume la función de la luz clave, es decir, debe ser capaz de modelar la figura (*iluminación para lograr un efecto tridimensional*). A pesar de que las luces directas Fresnel en la posición difusora se utilizan casi siempre como luces laterales, el empleo de luces abiertas como laterales produce efectos de iluminación interesantes.

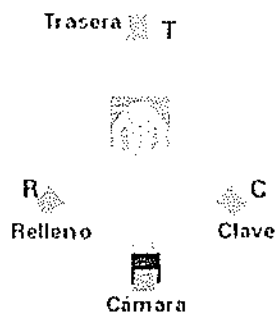
LUZ DE RETROCESO TRASERA



Para lograr una iluminación muy brillante, la luz clave puede apoyarse con luces de relleno laterales. La luz de relleno proporciona, al lado clave del sujeto, una iluminación básica; por su parte, la luz clave provee los reflejos y el acento necesarios.

Luz de retroceso: Como luz de retroceso se emplea generalmente una luz directa Fresnel muy enfocada, la cual incide sobre el sujeto desde atrás y contra la cámara y la luz clave (esto es, a un lado de la luz de relleno). Su propósito principal es dar relevancia al contorno del sujeto donde la declinación de la luz clave se hace mas densa y la sombra del sujeto tiende a fundirse con la oscuridad del fondo. La función de la luz de retroceso es semejante a la luz trasera, con la diferencia de que la de retroceso "delinea" al sujeto no desde la parte superior trasera sino desde el lado inferior y de atrás.

EL PRINCIPIO FOTOGRAFICO O LA ILUMINACION EN TRIANGULO



El principio fotográfico o la iluminación en triángulo

Como parte del arte de la fotografía, la televisión está sujeta a los principios de iluminación de la fotografía. El más básico de estos principios es el de la iluminación en triángulo, consistente en tres fuentes principales de iluminación:

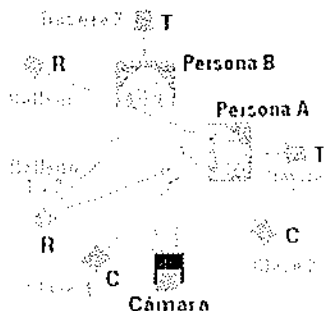
La luz clave, la luz trasera y la luz de relleno. Cada una debe ser colocada para satisfacer de manera óptima la función que le ha sido asignada. La luz trasera en posición opuesta a la cámara, y directamente atrás del sujeto; las luces clave o de relleno a los lados de la cámara y al frente y a un lado del sujeto. A este tipo de instalación se le denomina iluminación en triángulo.

■ Técnicas de Iluminación

Cuando la aplicación de los principios fotográficos en la iluminación se torna común, es posible recurrir a otras técnicas entre las cuales se incluye:

- 1 Iluminación para la acción continua,
- 2 Iluminación de grandes áreas,
- 3 Iluminación con fondo oscuro,
- 4 Iluminación de silueta,
- 5 Iluminación de Chroma-key, y
- 6 Control de sombras de los ojos y el boom.

APLICACION DE MULTIPLES TRIANGULOS



Iluminación para la acción continua

El movimiento del elenco y las cámaras son un problema adicional de la iluminación para la televisión en producciones donde se emplean múltiples cámaras. La iluminación básica en triángulo con las luces clave, traseras y de relleno puede ser multiplicada y usarse en cualquier área de actuación o escenificación. Incluso cuando existen dos personas sentadas a la mesa, es necesaria la aplicación múltiple de la iluminación en triángulo básica.

Para compensar el movimiento de los actores, es necesario iluminar todas las áreas de la escenografía, de tal modo que las áreas iluminadas dentro del triángulo se superpongan. El propósito de esta superposición es proporcionar a los actores una iluminación continua mientras se mueven de un área a otra.

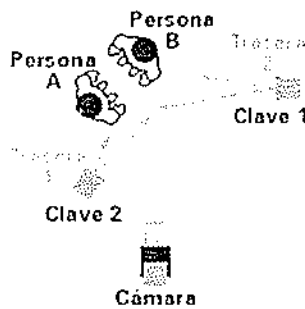
No debe concentrarse sólo en las áreas principales de actuación, desatendiendo las zonas pequeñas y aparentemente insignificantes que se encuentran entre ellas. Incluso puede pasar desapercibida la diferencia de la iluminación hasta que los actores se mueven por el foro. Por esta razón, es muy importante utilizar el fotómetro para localizar los espacios de poca luz por donde pueden moverse los actores.

Como se iluminan al mismo tiempo varias áreas del escenario para grabar una acción continua, puede suceder que no se cuente con los instrumentos suficientes para la iluminación en triángulo sobrepuesta. Por tanto, será necesario que algunos instrumentos de iluminación sean colocados para atender dos o más funciones.

En el ángulo inverso de la toma, por ejemplo, la luz clave para uno de los actores puede convertirse en la luz trasera de otro, y viceversa. Esta técnica se denomina cruce de luces clave (cross-keying). No obstante, también una luz clave puede emplearse al mismo tiempo como relleno direccional de otra área. Debido a que las luces de relleno tienen su haz abierto, también puede emplearse una sola luz de relleno para iluminar las sombras densas de más de una área.

Por supuesto, la aplicación de los instrumentos de iluminación para que asuman múltiples funciones exige el posicionamiento exacto de las piezas del escenario, como las sillas, que las áreas de actuación estén claramente definidas, así como el movimiento de los actores. La iluminación correcta debe efectuarse teniendo siempre en cuenta las posiciones básicas de la cámara y con objetivos específicos. Por tanto, es de gran ayuda saber las posiciones básicas de la cámara y el rango particular de los principales puntos de vista de ésta antes de comenzar con la iluminación.

CRUCE DE LUCES CLAVE (CROSS-KEYING)

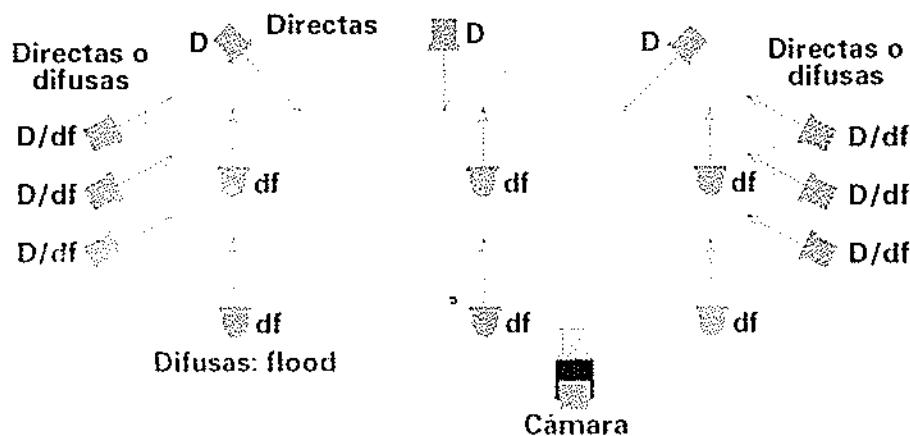


Iluminación de grandes áreas:

Los principios fotográficos básicos se aplican para iluminar grandes áreas, como una audiencia o una orquesta. Por ellos es necesario efectuar la sobreposición parcial de un triángulo con otro hasta que se haya cubierto el área total. En lugar de que la luz clave se proyecte desde un solo lado de la cámara y la luz de relleno provenga del otro, aquella debe enviarse desde ambos lados de la cámara con el haz de los instrumentos en la posición flood (abierto). Así, la luz clave de un lado actuará como luz de relleno del otro.

Las luces traseras están encadenadas en hilera o en semicírculo y ubicadas en el lado opuesto de la posición principal de la cámara. Las luces de relleno por lo general surgen

CRUCE DE LUCES CLAVE PARA AREAS GRANDES



directamente del frente. Pero, si las cámaras se mueven a un lado, algunas de las luces clave también funcionan como luces posteriores. Asimismo, se pueden emplear luces difusas o luces fluorescentes en lugar de las luces directas Fresnel para este tipo de iluminación.

Iluminación con fondo oscuro

Algunos programas de televisión y sobre todo los de corte dramático, son escenificados por lo general en medio de un estudio vacío y contra un fondo sin iluminar.

Esta técnica consiste en que los actores son fuertemente iluminados contra un fondo oscuro. Todas las luces para este tipo de iluminación, deben ser altamente direccionales y es posible alcanzar mayor eficacia a través del empleo de luces directas con viseras. Si se trabaja en estudios pequeños, las áreas de fondo deben protegerse cuidadosamente con telas negras para que absorban la luz, evitando con ello que existan brillos que distraigan la atención.

Iluminación de una silueta

Para lograr el efecto de una silueta es necesario proceder de manera opuesta a como se hace para la iluminación con fondo oscuro. En la iluminación de silueta lo que se ilumina es el fondo mientras las figuras del frente permanecen sin luz.

De esta forma, lo único que se observa es el contorno de los objetos y la gente, no su volumen ni textura. Es evidente que el efecto de silueta debe emplearse solo para aquellas escenas que adquieran una ganancia al destacar su contorno.

Por otra parte, también puede usarse este efecto para esconder la identidad de la persona que muestra la cámara.

Para obtener una iluminación de silueta, es necesario utilizar luz altamente difusa y suave, con el propósito de lograr una iluminación pareja del fondo.

Iluminación del área Chroma-Key

El área Chroma Key de un escenario es un fondo azul (*en ocasiones verde*) que se emplea para agregar a la imagen fondos generados electrónicamente, los cuales reemplazan dichos fondos azules durante la producción.

En los reportes del tiempo se emplea con mayor frecuencia. El conductor parece estar de pie frente al mapa donde se muestra el clima, en realidad se encuentra frente a una proyección de fondo azul en un espacio vacío, y aunque aparenta observar el mapa, lo que hace es dirigirse a un fondo azul vacío y ver, a través de un monitor, el mapa que guía sus movimientos y que reemplaza el área azul.

El aspecto más importante para lograr la iluminación del área chroma-key radica en la iluminación uniforme del fondo del escenario, lo que significa que el fondo azul necesariamente debe lograrse mediante el empleo de instrumentos de iluminación altamente difusos, como luces suaves. En el caso poco usual de tener áreas oscuras o manchas de luz, la imagen electrónica que suplirá al fondo se verá descolorida, o peor aún, tenderá a abrirse. Por ello, cuando se ilumina el primer plano, como en el caso de reporte del tiempo, es necesario prevenir que cualquiera de las luces que se emplean incidan sobre el área chroma key. Cualquier derrame de luz sobre la iluminación del fondo estropeará el chroma key.

Algunas veces, cuando se observa el efecto chroma-key, es posible notar que el contorno del locutor que hace el reporte del tiempo vibra con varios colores o que no tiene definición. Uno de los principales motivos de la vibración de los contornos radica en que el reflejo del propio fondo provoca que algunos colores se vean especialmente oscuros o que las sombras adquieran un tinte azul. Durante el proceso chroma-key las manchas azules se transparentan y permiten que la imagen del fondo se haga visible a través de ellas. Para contrarrestar el tono azulado de las sombras, pueden colocarse gelatinas color amarillo o naranja tenue sobre cualquier luz trasera o de retroceso.

Así, la luz posterior no solo separa el sujeto del primer plano de la imagen del fondo, por medio de la iluminación del contorno, sino que también neutralizará las sombras azules al complementarlas con el color amarillo. El resultado será el contorno definido del encargado del reporte del tiempo durante el chroma-key. De cualquier forma, es recomendable cuidar que la luz amarilla no incida sobre el rostro, los brazos o manos de la persona que se encuentre en el área chroma-key.

Control de las sombras en los ojos y en el boom

Cuando la luz clave incide sobre la persona desde un ángulo muy forzado, genera sombras grandes sobre cualquier hendidura y bajo cualquier protuberancia, tal como las cavidades de los ojos o bajo la nariz y la barbilla. Si el sujeto utiliza anteojos, la sombra del círculo superior de los marcos puede proyectarse directamente sobre los ojos, lo cual evita que la cámara y el telespectador los pueda ver con claridad.

Existen varias formas para disminuir estas sombras indeseables. Primero, se debe intentar reducir la posición vertical del propio instrumento o alejar la luz clave de la persona. Si se opta por bajarla debe notarse que mientras más abajo se coloque la luz clave y más se aproxime al nivel de los ojos de la persona, las sombras de los ojos parecerán moverse hacia arriba del rostro o, por lo menos, hacerse más pequeñas. Tan pronto como las sombras se escondan tras la parte superior del marco de los lentes, la luz clave debe asegurarse en su posición.

Por supuesto que esta técnica funciona bastante bien siempre y cuando el sujeto no se mueva demasiado. Segundo, también se pueden reducir las sombras en los ojos por medio de la iluminación del sujeto desde ambos lados, empleando instrumentos similares. Tercero, las luces de relleno pueden reposicionarse para que su luz incida sobre el sujeto directamente de frente y desde un ángulo bajo, lo cual proyectará las sombras hacia arriba y fuera de los ojos.

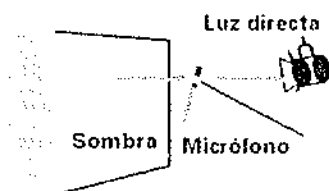
Sombras del micrófono boom

A pesar de que no se emplean grandes micrófonos boom en el estudio, excepto para algunas escenificaciones dramáticas, los principios para eliminar las sombras de los boom se aplica también a los que operan manualmente, como las canas. Cuando un micrófono boom se mueve frente a una escena iluminada, en este caso una sola persona, y modifica ligeramente la posición del boom, es posible notar su sombra en el fondo o incluso, sobre el actor, cuando el micrófono o el boom atraviesa directamente el haz de la luz directa.

Estas sombras distraen de manera especial cuando entran y salen durante el transcurso de una escena muy dramática, o cuando se proyectan con claridad sobre la pared o cortinados. No obstante, existen dos formas de evitar las sombras del boom: mover la luz y/o el boom para que su sombra no se proyecte dentro del rango de visión de la cámara o emplear luces altamente difusas que permitan que las sombras se tornen casi invisibles.

Primero es necesario ubicar la luz que proyecta la sombra del boom. Por sencillo que parezca, no siempre es fácil localizar el instrumento que genera el problema, sobre todo cuando son varias las luces directas que iluminan diversas áreas del estudio. Por ello, la manera más sencilla de localizar la luz, es mediante un giro con la cabeza, desde la sombra del boom, hasta el lugar en que el micrófono se sostiene. La luz que proyecta la sombra no necesariamente brillará frente a sus ojos. Sin embargo, si lo expresamos de una forma más técnica, el instrumento debe localizarse en algún lugar de la línea imaginaria que se dibuje desde la sombra hasta el micrófono que la proyecta.

LOCALIZACION DE LA LUZ QUE CAUSA LA SOMBRA



En este caso, simplemente apague el instrumento que se supone provoca el problema. Si esta medida debilita seriamente la instalación de la luz, trate de colocar el boom de tal forma que no tenga la necesidad de colocarse a través del haz de la luz clave.

Otra manera de evitar las sombras del boom es mediante la iluminación más empinada de lo normal. Esto se logra al acercar la luz clave al escenario. Mientras más próximas del escenario se ubiquen las luces, más inclinación será necesaria para iluminar su objetivo. Así la sombra del boom se proyectará sobre el piso del estudio en lugar de reflejarse sobre el rostro del elenco o en el fondo, y por tanto estará fuera del rango de la cámara. El problema de esta técnica radica en que una luz clave empinada produce sombras largas bajo los ojos y la barbilla.

Dado que la luz difusa que proporcionan las luces abiertas y las luces suaves proyectan sombras suaves y menos definidas, una solución obvia para este problema es iluminar todo con luces difusas de tal modo que las sombras apenas se noten.

2 CONTRASTE

La cámara de televisión es capaz de tolerar un contraste relativamente limitado entre las manchas más claras y las más oscuras de una escena, si se desea que la imagen muestre las sutiles diferencias de brillo que puedan existir entre las áreas oscuras, los rangos intermedios, y las áreas claras. Es importante destacar que el contraste no depende tanto de la cantidad de luz que emiten los instrumentos de iluminación, sino más bien de la cantidad de luz que reflejan los colores y las diversas superficies iluminadas. Por ejemplo, un refrigerador blanco, un impermeable amarillo y un plato de latón pulido reflejan mucha más luz que un terciopelo azul oscuro, incluso si son iluminados por la misma fuente. Si se coloca el plato de latón sobre el terciopelo, quizá exista demasiado contraste como para que la cámara de televisión pueda manejar adecuadamente la imagen y todavía ni siquiera se empieza a iluminar. Por tanto, es importante resaltar que cada vez que se enfrente un problema de contraste, es necesario tomar en consideración la relación de contraste entre los diversos factores, como la incidencia de la luz sobre el sujeto, la cantidad de luz que se refleja y la diferencia que pueda existir entre el primer y último planos, o entre la mancha más clara y la más oscura de la imagen. Debido a que el problema que se enfrenta tiene que ver más con las relaciones que con valores absolutos, el límite de contraste de una cámara se expresa en razones.

Razón de contraste

La razón de contraste de una imagen es la diferencia que existe entre las manchas más brillantes y las más oscuras. La mayoría de las cámaras poseen una razón de contraste 40:1, lo que significa que el área más brillante debe ser solo cuarenta veces más clara que el área más oscura de la imagen. Si la dispersión más brillante excede la razón 40:1, la cámara no podrá reproducir las diferencias sutiles de la iluminación que existan en las áreas claras u oscuras de la imagen. No obstante, las cámaras digitales son capaces de tolerar contrastes mayores, por lo cual se pueden aplicar a estas la misma razón.

A la mancha más brillante, es decir, al área que refleja la mayor cantidad de luz, se le denomina *blanco de referencia* y determina el nivel de blanco. Por su parte, el área que refleja la menor cantidad de luz es el *negro de referencia* y determina el nivel de negro. Con un límite de contraste de 40:1 o 50:1, el blanco de referencia no debe reflejar más de cuarenta o cincuenta veces la luz que refleja el negro de referencia. Es necesario recordar que el contraste no se determina necesariamente por la cantidad de luz que genera una lámpara, sino más bien, por la cantidad de luz que reflejan los objetos hacia el lente de la cámara.

Ajuste de contraste (Shading)

Al observar un monitor en forma de onda, el cual muestra gráficamente los niveles de blanco y negro de una imagen, el operador de video ajusta el contraste de la imagen para que se ubique dentro de un rango de contraste óptimo; a esto se lo denomina ajuste de contraste. Al ajustar una imagen cuya condición es menos que ideal, el operador de video intenta bajar los valores excesivos de brillo para uniformarlos con los niveles de blanco establecidos. Sin embargo, debido a que el valor más oscuro ya no puede oscurecerse más y bajarse junto con las áreas brillantes, las porciones oscuras de la imagen son vencidas dentro de un color turbio uniforme, oscuro y ruidoso. Pero si aún así se insiste en poder ver detalles en las áreas oscuras de la imagen, el operador de video todavía puede extender los negros hacia el final del blanco. Sin embargo ello provoca que las áreas brillantes pierdan sus diferencias y adquieran un color blanco uniforme, extrañamente plano y deslavado. De hecho, las imágenes se aprecian como si el control del contraste del monitor hubiera sido colocado muy alto y el brillo muy bajo, o al contrario, como si el contraste estuviera demasiado bajo y el brillo muy alto. Disminuir bastante la declinación por medio de luz de relleno, manteniéndose alejado del alto contraste en el vestuario (*camisa blanca almidonada y abrigo negro*) o de los colores del escenario (*columnas blancas frente a una cortina blanca o púrpura oscura*), ayudará enormemente a reducir o a eliminar el problema del contraste.

Iris automático:

A pesar de que con frecuencia resulta bastante práctico colocar la cámara en la función de iris automático o auto-iris (*la cámara ajusta automáticamente la apertura para la exposición óptima*), esto no funciona tan bien en las escenas de contraste alto. El iris automático, siempre fiel, responde inevitablemente al área más brillante de la imagen, sin importar el nivel de brillo, y la reduce al nivel pico de la señal (100% de la fuerza de la señal) y mueve el resto de los valores de brillo hacia abajo y hacia el final de los negros de la escala. Mientras más lejos deba bajarse la mancha más brillante para que alcance los niveles aceptables de blanco, más vencidos en el color turbio serán los colores más oscuros. Lo que significa que si la cámara debe ajustarse a la mancha más brillante de la imagen el resto de las áreas serán oscurecidas proporcionalmente.

La mayoría de las cámaras profesionales que se emplean tanto para la recopilación de noticias (ENG) y para la producción en estudios (EFP) poseen un mecanismo electrónico para la comprensión del contraste, el cual ayuda a que la cámara mantenga todavía la diferenciación de la brillantez en las áreas oscuras (extender los negros) sin llegar a exponer demasiado los blancos. Este es el motivo por el que muchas veces se utiliza el iris automático, pero la mejor manera de lograr imágenes de alta calidad es limitar la razón de contraste de la escena a 40:1.

Medición del contraste:

El contraste debe medirse por medio de la lectura de la luz reflejada: primero se apunta el fotómetro cerca del objeto que funciona como referencia del blanco (*con frecuencia es una pequeña tarjeta blanca que se ubica en el escenario*) y después hacia el objeto que sirve como referencia de negro (*la mancha más oscura de la escena o una tarjeta negra colocada en el escenario*). Al efectuar lo anterior, incluso si no se cuenta con un fotómetro o un monitor de forma de onda para supervisar la razón del contraste, se puede saber, al observar el monitor, si las áreas blancas, como el mantel blanco de la escenografía es demasiado blanco en relación con los rostros de las personas que habrán de sentarse a la mesa.

Si ellos visten algo oscuro, como un vestido púrpura o un abrigo azul, todo se verá uniformemente oscuro, es decir, que no se percibirán detalles en las sombras.

Límite del contraste:

Con el propósito de mantener la razón de contraste dentro de los límites de tolerancia de la cámara (normalmente 40:1), es necesario seguir los principios que se presentan a continuación:

- Asegurarse de considerar la reflectancia general de los objetos. Es evidente que un objeto que refleja la luz con intensidad necesitará menos iluminación que uno altamente absorbente.
- Es necesario evitar los contrastes extremos de brillantez en una misma toma. Por ejemplo, si es necesario mostrar la nueva línea de porcelana china, es recomendable no colocarla sobre un mantel de color púrpura oscuro, sino más bien, sobre uno claro que refleje más la luz. De esta manera, se puede limitar la cantidad de luz que incide sobre la porcelana, sin hacer que el mantel se vea demasiado oscuro y turbio.
- Las áreas sombreadas deben iluminarse por medio de niveles generosos de luz difusa. Esto permitirá mostrar ciertos detalles que de otra forma se ocultarán tras la sombra, al tiempo que se reduce el contraste.

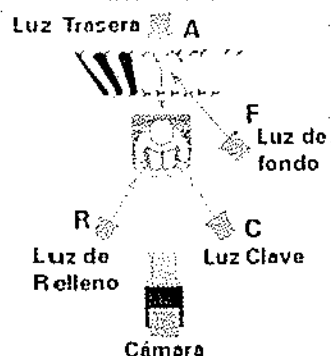
Estas tres técnicas para limitar el contraste son muy importantes cuando se iluminan personas. Por ejemplo, si se realiza un comercial en una cocina integral color blanco y de material altamente reflejante, puede encontrarse que a pesar de la iluminación del propio actor, su rostro se ve bastante oscuro en relación con el fondo claro. Si se ilumina más el rostro, el problema no se remediará y, por el contrario, se provocará que más luz incida sobre el ya de por sí brillante escenario. En lugar de ello, debe reducirse la iluminación del fondo reflejante. Así el rostro lucirá apropiadamente iluminado sobre un fondo más oscuro.

3 BALANCE DE INTENSIDAD

Incluso cuando se ha ajustado cuidadosamente tanto la posición como los haces de las luces clave, traseras y de relleno, todavía es necesario efectuar el balance de sus intensidades relativas. Cabe destacar que no solo la dirección de las luces orienta al telespectador acerca de la hora del día en que transcurre la escena, sino también sus intensidades. Por ejemplo, es posible sugerir que es la luz de la luna la que ilumina una escena, si se efectúa una instalación donde la luz trasera sea intensa y la luz clave tenue.

Existen varios argumentos acerca de la necesidad de balancear en primer término las luces clave y las traseras o darles prioridad a las clave y las de relleno. De hecho, poco importa cual sea el orden mientras que el efecto final sea una imagen bien balanceada. No obstante, el balance de las tres luces del triángulo depende de que se intenta transmitir al telespectador. Por tanto, no es posible emplear razones precisas de intensidad sobre las luces clave, traseras y de relleno como guía absoluta para lograr una iluminación eficaz. Aún así, existen razones que han probado ser beneficiosas para un cierto número de tareas de iluminación rutinarias. Siempre es posible iniciar con estas razones para ajustarlas después a las tareas específicas de iluminación.

RAZONES DE ILUMINACION



Razón entre luces clave y traseras:

En condiciones normales, las luces traseras tienen aproximadamente la misma intensidad que las luces clave. La intensidad inusual de la luz trasera provoca que las personas luzcan glamorosas, mientras que una luz trasera mucho más baja que la luz clave tiende a no percibirse en el monitor.

Un actor con cabello rubio y traje color claro necesitará una luz trasera considerablemente menor que uno de cabello oscuro con vestuario negro. La razón 1:1 entre la luz clave y la trasera (*luces clave y de atrás de igual intensidad*) pueden llegar hasta 1:1,5 (*la luz trasera tiene una vez y media mas intensidad que la luz clave*) si es necesaria una buena cantidad de destellos o si el actor tiene el cabello oscuro y de textura absorbente de la luz.

Razón entre las luces clave y de relleno:

La intensidad de la luz de relleno depende de cuán rápida es la declinación que se requiere. Si se desea una declinación rápida para lograr un efecto dramático, será necesaria poca luz de relleno. Por tanto, resulta inútil establecer una razón estándar entre la luz clave y la de relleno. Sin embargo, para los principiantes es recomendable iniciar con una relación de intensidades donde la luz de relleno sea de solo la mitad de la luz clave para ir ajustando a partir de ésta. Es necesario recordar que, mientras más luces de relleno se empleen, menor será el modelaje logrado por medio de la luz clave y más se suavizará la textura (*como el rostro de una persona*). No obstante, si la luz de relleno es baja, las densas sombras no mostrarán detalles, y puede correrse el riesgo de que el color se distorsione en esas áreas. Por ejemplo, si un detective hace referencia a que una mujer tiene una pequeña cicatriz en el lado izquierdo de la cara y el acercamiento de su rostro no muestra mas que una sombra densa en el lugar donde la cicatriz debería aparecer, si la sombra oculta un interruptor importante del producto que se demuestra, definitivamente la razón entre la luz clave y la luz de relleno está mal.

Si se necesitara iluminar una escena cuyos requerimientos fueran iluminación básica alta y bajo contraste, se emplearían luces difusas tanto para la luz clave como para la de relleno, con esta última encendida casi a la misma intensidad que la luz clave. Es posible que la luz trasera deba encenderse a una intensidad mayor para que provea los destellos necesarios.

4 ESQUEMA DE ILUMINACION

El esquema de iluminación debe mostrar:

- 1 La ubicación de los instrumentos de iluminación en relación con el escenario, los objetos iluminados y las áreas,
- 2 La dirección de los haces principales,
- 3 El tipo y tamaño de los instrumentos que se emplearán.

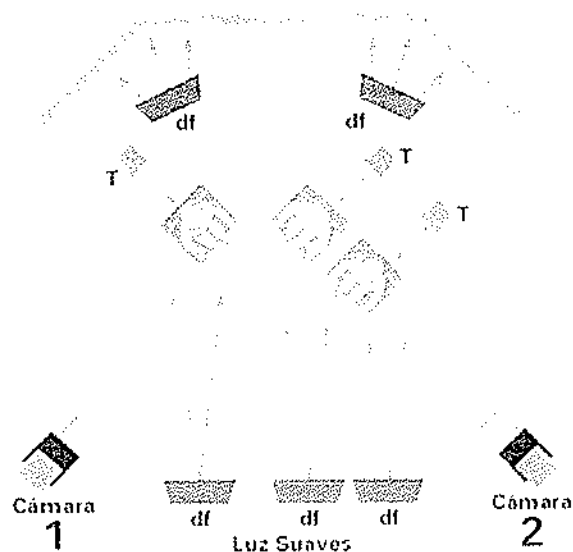
Para elaborar un esquema de iluminación eficiente, es necesario contar con un plano del piso que muestre con precisión el escenario y la utilería, las posiciones principales del elenco y de la cámara, así como los ángulos de las tomas. Debido a que la mayor parte de esta información por lo general no está disponible para los programas rutinarios, estos se iluminan sin un esquema de iluminación.

No obstante, si lo que se debe iluminar es un programa atípico, como por ejemplo una entrevista a un personaje importante, un esquema de iluminación logra que la producción se realice de manera menos arbitraria y que el personal de iluminación ahorre tiempo y energía. Además, el esquema podrá utilizarse para acontecimientos futuros semejantes.

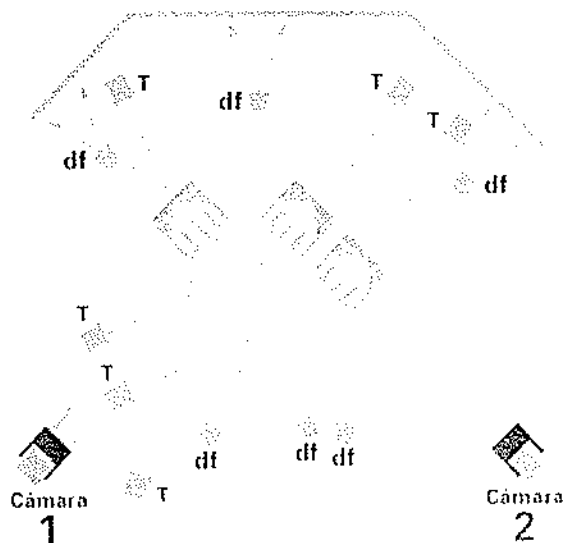
Una forma fácil de elaborar un esquema de iluminación es colocar una hoja transparente sobre la copia del plano del piso y dibujar sobre ésta las luces. Es necesario emplear símbolos distintos para identificar las luces clave (*spots*) y las difusas, y flechas para indicar la dirección principal de sus haces.

Es recomendable trabajar junto con el diseñador de la escenografía o con el floor manager, responsable de la instalación, para que desde un principio la colocación del escenario disminuya la necesidad de mover los instrumentos y ayude a lograr la iluminación deseada.

ESQUEMA DE ILUMINACION PLANA PARA ENTREVISTA



ESQUEMA DE ILUMINACION PARA ENTREVISTA CON LUCES DIFUSAS Y DIRECTAS



SEGURIDAD

Durante la operación real de los instrumentos de iluminación y el equipo de control asociado, es necesario obedecer la regla de todas las actividades de producción: **Lo primero es la seguridad.** Es necesario asegurar siempre con cables o cadenas de seguridad los instrumentos de iluminación al grid o parrilla de iluminación, como así también las viseras y porta filtros a los instrumentos.

Asimismo, también es importante supervisar periódicamente todas las grampas C y los pernos que conectan los instrumentos de iluminación con los mecanismos de suspensión. Se requiere ser cauto al conectar lámparas y mover instrumentos encendidos. Debido a que las lámparas calientes son vulnerables a golpes, es necesario mover los instrumentos con cuidado y suavidad.

Se deben emplear guantes siempre que se trabaje con instrumentos de iluminación en funcionamiento, a fin de proteger a los operadores de quemaduras cuando sea necesario tocar una lámpara caliente.

Antes de reemplazar las lámparas, es necesario esperar a que se enfrien. Para quitar la lámpara quemada, el instrumento debe apagarse. Como doble medida de seguridad, desconecte el instrumento desde la energía eléctrica al reemplazar una lámpara.

Si es necesario movilizar las escaleras para efectuar el ajuste del haz de luz de un instrumento, colóquelas para trabajar desde la parte de atrás y no de frente al instrumento.

5 PUNTOS IMPORTANTES

- ❑ Toda iluminación emplea luces directas y/o difusas
- ❑ La luz clave es la fuente principal de iluminación y debe revelar la forma básica del objeto
- ❑ La luz trasera debe ayudar a diferenciar la sombra del objeto del fondo y delinear el contorno del objeto. Proporciona destellos a la imagen.
- ❑ La luz de relleno reduce la declinación y quita densidad a las sombras.
- ❑ La luz de fondo o del escenario ilumina el fondo de la escena y del escenario. La luz actúa como luz de relleno adicional. La luz de retroceso se emplea para delinear, desde un ángulo bajo, el contorno de un objeto que de otra forma parecería fundirse con el fondo.
- ❑ La mayoría de las instalaciones de iluminación para la televisión se realizan bajo el principio básico de la fotografía, es decir, la iluminación en triángulo de las luces clave, traseras y de fondo.
- ❑ Las técnicas de iluminación específicas incluyen iluminación para acción continua, iluminación de grandes áreas, iluminación con fondo oscuro, iluminación de siluetas, iluminación del chroma-key, y el control de las sombras sobre los ojos y del boom.
- ❑ Declinación significa la velocidad con la que el lado iluminado de un sujeto cambia a sombra, así como la densidad de las áreas oscuras. Declinación rápida quiere decir que las áreas de luz y sombra estén claramente marcadas y que las sombras son densas. Declinación lenta indica que la transición de la luz a la sombra es más gradual y que las sombras son, en alguna medida, transparentes.
- ❑ Una escena con iluminación baja posee un fondo oscuro y declinación rápida y selectiva, además de una atmósfera dramática y misteriosa. Una escena con iluminación alta posee un fondo claro, su nivel de iluminación básico es alto, y por lo general, transmite una atmósfera rítmica y alegre.
- ❑ Contraste es la diferencia entre las áreas más brillantes y las más oscuras de una escena.
- ❑ La razón de contraste se logra a partir de la lectura de la luz reflejada. La razón de contraste óptima normal es de 40:1. En las cámaras digitales esta razón puede ser mayor, es decir, son capaces de tolerar contrastes más altos.
- ❑ El balance de intensidades de los diversos instrumentos de iluminación depende, en gran medida, del efecto que se desea transmitir.
- ❑ El esquema de iluminación indica la ubicación de los instrumentos de iluminación, la dirección principal de sus haces y, algunas veces, el tipo y tamaño de las luces que se emplearán.
- ❑ Durante la operación de iluminación se deben obedecer las normas de seguridad.

otas	Notas	Notas	Notas	Notas	Notas	Notas	Notas	Notas	Notas
------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Notas

Notas

Notas

Notas

Notas

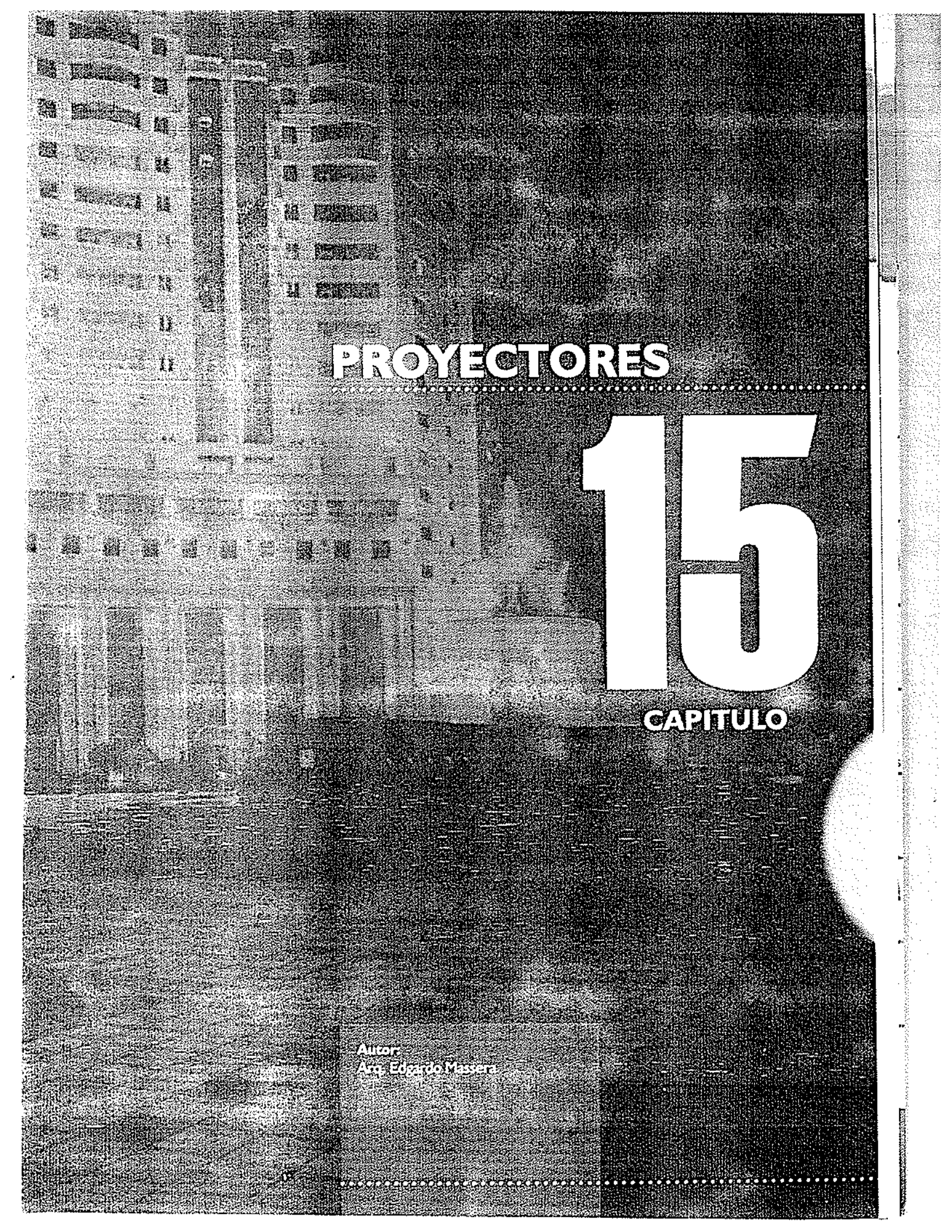
Notas

Notas

Notas

Notas

Ne

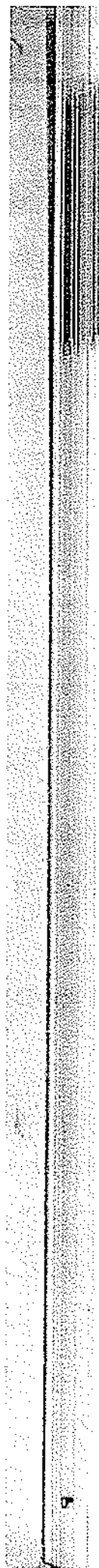


PROYECTORES

15

CAPITULO

Autor:
Arq. Edgardo Massera



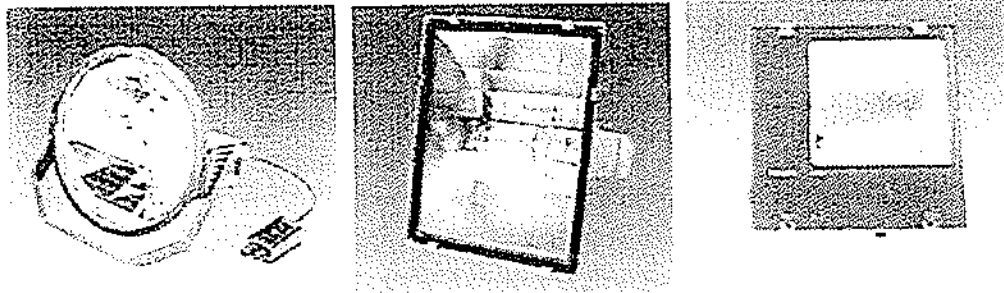
PROYECTORES

Los ámbitos de aplicación de la iluminación con proyectores abarcan campos como la iluminación de áreas de trabajo o industriales, de fachadas y monumentos, de instalaciones deportivas y algunas aplicaciones en alumbrado público (*plazas, túneles, espacios urbanos abiertos, etc.*).

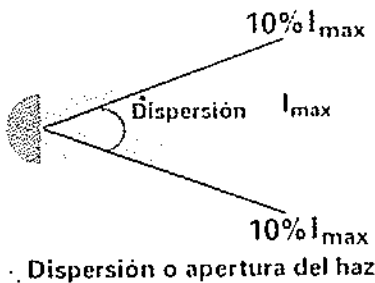
A continuación desarrollaremos el tema de los proyectores, el método de cálculo y las posibilidades de empleo de los proyectores

Proyectores

Un **proyector** es una luminaria que concentra la luz en un determinado ángulo sólido mediante un sistema óptico (*espejos o lentes*), para conseguir una intensidad luminosa elevada en dicha zona. Las lámparas empleadas son muy variadas dependiendo del uso al que este destinado el aparato y el resultado a obtener.

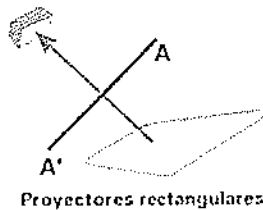
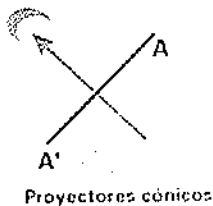


Los proyectores se clasifican según el patrón de **apertura o dispersión** del haz de luz en: simétricos de rotación, simétricos y en asimétricos.



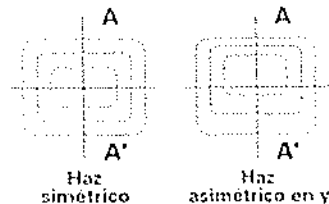
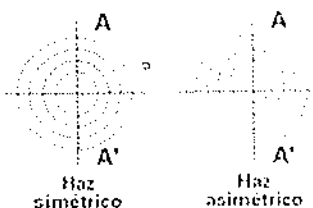
De acuerdo con la magnitud de la apertura del haz, que se define como el ángulo comprendido entre las dos direcciones en que la intensidad luminosa cae un determinado porcentaje (*usualmente el 10% o el 50%*) del valor máximo que hay en el centro del haz donde la intensidad es máxima, se clasifican como de haz concentrado, haz medio, o haz abierto.

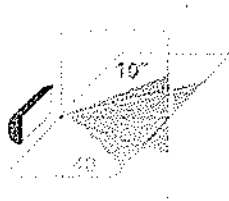
La **forma de la distribución del haz** de luz depende del tipo de proyector. Así, en los proyectores circulares puede ser cónico o cónico ligeramente asimétrico, obteniéndose una proyección elíptica sobre las superficies iluminadas. Mientras, en los rectangulares suele ser simétrica en los planos horizontal y vertical; aunque en este último plano también puede ser asimétrica y la proyección obtenida tiene forma trapezoidal.



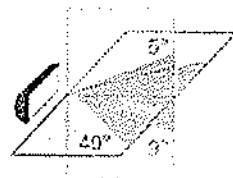
Para la **denominación** de un proyector bastará indicar los ángulos de abertura en sus planos de simetría (*vertical y horizontal normalmente*). Por ejemplo, $10^\circ/40^\circ$ indica un proyector que tiene en el plano vertical 5° a cada lado del eje central y 20° en cada lado en el plano horizontal.

Finalmente, la **eficacia del haz** es la relación entre los lúmenes contenidos dentro de la abertura del haz (*lúmenes del haz*) y los lúmenes de la lámpara en tanto por ciento.

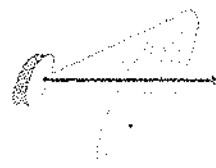




10°/40°



5°-9°/40°



40°
Simetría
Rotacional

Eficacia del haz (%) = lúmenes del haz / lúmenes de la lámpara.

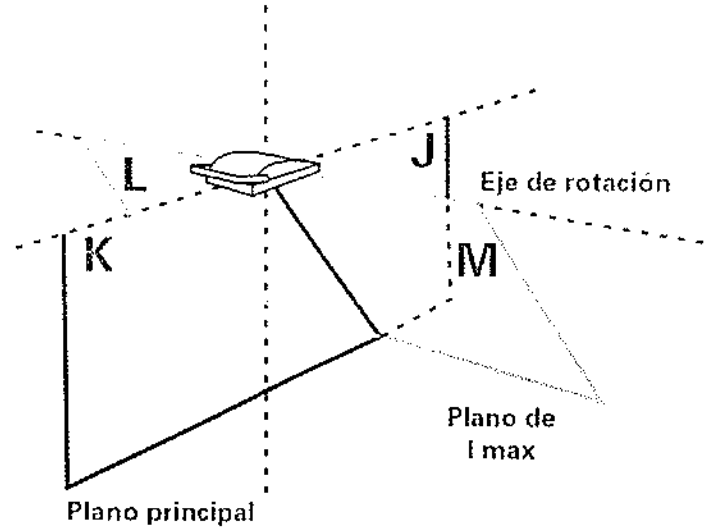
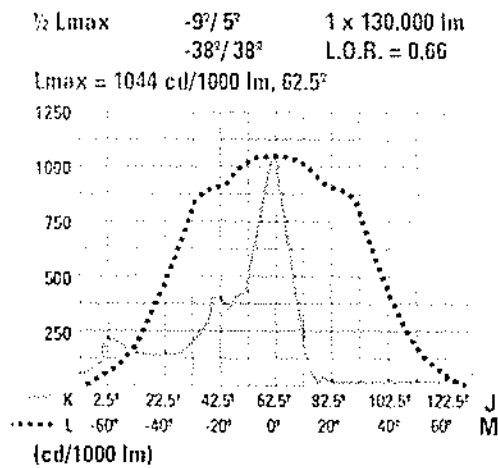
Diagrama de intensidad luminosa

La distribución de la intensidad luminosa de un proyector, generalmente se representa en la forma

de un diagrama cartesiano.

El diagrama presenta la intensidad luminosa en curvas que representan valores en $\text{cd}/1000\text{lm}$, en un plano o en dos perpendiculares entre sí.

En los proyectores donde la lámpara es perpendicular al frente del proyector la curva está determinada por un plano que pasa por el eje de la lámpara. Si el eje de la misma es paralelo al frente del proyector las curvas están determinadas por dos planos perpendiculares que pasan por el centro fotométrico de la lámpara.



El plano KJ, principal es perpendicular al eje de la lámpara y al frente del proyector. El plano LM, es perpendicular al anterior y contiene los valores de intensidad luminosa máxima del plano principal.

La L_{max} , en el plano KJ es un valor muy importante de diseño, razón por la cual se la expresa directamente junto con el ángulo entre la dirección de la L_{max} y la perpendicular al frente del proyector.

Determinados a partir del gráfico los valores de L , conocido el flujo de la lámpara y la distancia del proyector al punto a iluminar se puede obtener $E_{\text{hor.}}$ y $E_{\text{ver.}}$. A partir de las formulas clásicas de fotometría.

$$E_{\text{hor.}} = L \times \text{flujo} \times \cos^3 \alpha / h^2$$

$$E_{\text{ver.}} = L \times \text{flujo} \times \cos^2 \alpha \times \text{seno } \alpha / h^2$$

Cálculo de instalaciones con proyectores

En el momento de tener que encarar un proyecto de iluminación de área con proyectores, hay que empezar estudiando el ámbito de aplicación de nuestra instalación.

Los más habituales son:

- Iluminación de áreas de trabajo o industriales
- Iluminación de edificios y monumentos
- Iluminación de instalaciones deportivas
- Aplicaciones en alumbrado de áreas urbanas y espacios abiertos

En cada una de estas aplicaciones, podremos encontrar los **niveles de iluminación** más adecuados para garantizar una correcta iluminación.

Los casos específicos de cálculo para instalaciones de alumbrado interior, deportivas, para frentes de edificios y monumentos están tratados en particular en los capítulos respectivos.

Una vez realizados los pasos anteriores seguiremos con la **elección de los proyectores**. Una regla a tener en cuenta es que mientras más lejos los coloquemos de la zona a iluminar, más estrecha será la apertura del haz necesaria. Por otro lado, para conseguir una buena uniformidad conviene solapar los bordes de los haces de los proyectores que iluminan la superficie a tratar. El **emplazamiento** de los proyectores depende de la aplicación a que destinemos la instalación y del entorno circundante. En zonas pequeñas puede bastar con un único punto donde se instalen todos los proyectores; mientras que en otras recurriremos a varios puntos de ubicación.

El **cálculo** del número de proyectores necesarios es muy sencillo y se realiza con el método de los lúmenes. Si se requiere más precisión, conviene realizar los cálculos por ordenador debido a su complejidad y en la posibilidad de rápidamente analizar diversas variantes de solución al mismo tema.-.

Método del flujo luminoso o de los lúmenes.

Como una variable de la ecuación general de cálculo luminotécnico, en el caso de iluminación con proyectores, se puede partir aplicando la fórmula:

$$N = \frac{E_m \cdot S}{\Phi \cdot CBU \cdot F_m}$$

donde:

- **N** es el número de proyectores necesarios.
- **E_m** es la iluminancia media recomendada.
- **S** es la superficie a iluminar en m².
- **Φ** es el flujo luminoso de un proyector.
- **CBU** es el coeficiente de utilización del haz, que se define como la relación entre los lúmenes que llegan a la superficie iluminada y los lúmenes del haz. Su valor oscila entre 0.6 y 0.9.

■ **F_m** es el factor de mantenimiento cuyo valor está entre 0.65 y 0.80. Sirve para cuantificar la disminución del flujo luminoso por el envejecimiento de las lámparas y por la suciedad acumulada en el proyector, en relación con la polución del medio.

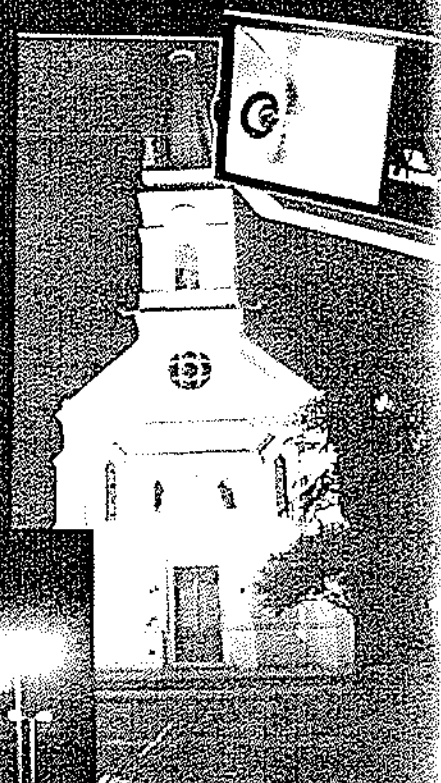
Una vez realizados los cálculos, es necesario verificar para comprobar los resultados.

Los parámetros de calidad a utilizar son: El valor de la **iluminancia media** (**E_m**) de la instalación y la **uniformidad media** (**E_{min} / E_m**).

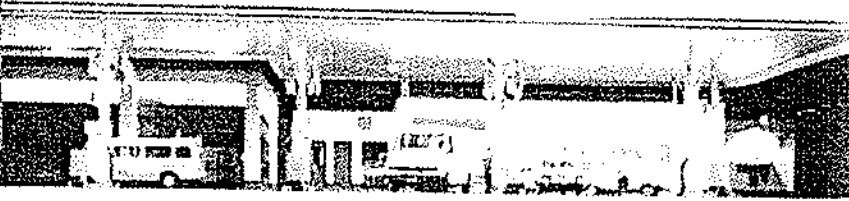
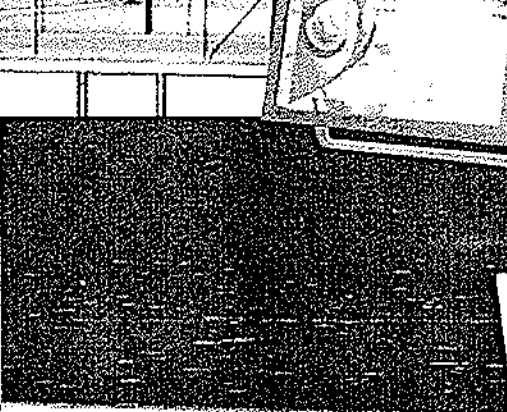
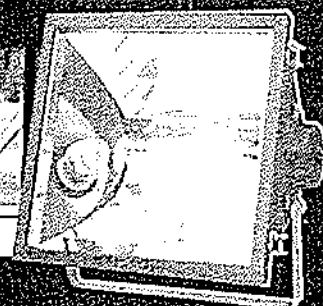
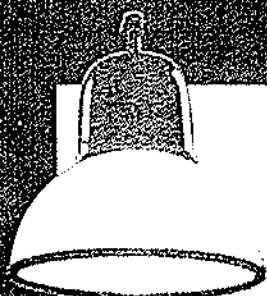


**FÁBRICA ARGENTINA
DE ARTEFACTOS DE
ILUMINACIÓN**

- Alumbrado Público.
- Iluminación Deportiva.
- Comercial.
- Industrial.
- Empotrables para cielorrasos.
- Iluminación Ornamental y decoración urbana.



La amplia gama de
productos permite
seleccionar la
luminaria óptima
para cada proyecto





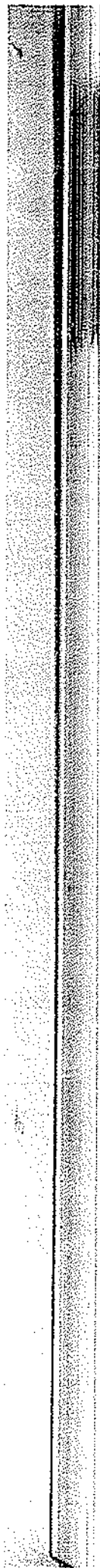
Quito 1528 - Parque Pellegrini
(B 1631-FBD) Pilar - Buenos Aires
Telfax: (02322) 49 49 44 (rot.)
e-mail: lanin@lanin.com
Web: www.lanin.com

**ILUMINACION DE
GRANDES AREAS
Y DEPORTIVAS**

16

CAPITULO

Autor:
Ing. Juan Eder



I PAUTAS PARA LA ILUMINACION DE GRANDES ÁREAS.

Las grandes áreas a iluminar suelen ser parques extensos de plantas y césped, en cuyo caso puede tratarse solamente de un alumbrado de vigilancia o bien espacios industriales como depósitos de mercadería al aire libre, áreas de maniobras o transferencias de cargas de vehículos, y también espacios de estacionamiento de los mismos.

Los alumbrados de vigilancia, si solo son para captar la presencia de intrusos en el área, puede resolverse económicamente con postes de baja altura, proveyendo un alumbrado rasante, que con premeditación molesten a los ojos del intruso, enmascarando a su vez la presencia de los custodios, solo hay que cuidarse de los objetos altos presentes en el área que puedan producir sombras que permitan el ocultamiento.

Las playas de maniobra de vehículos o de estacionamiento, son grandes áreas que requieren ser iluminadas para el servicio nocturno con un nivel suficiente para detectar detalles de dimensiones bastas y de modo que no se produzcan sombras acentuadas o largas de las estibas que enmascaren detalles importantes para ser vistos durante los desplazamientos. Según sean las dimensiones del área y las posibilidades de montaje de columnas, podrá optarse por el uso de proyectores, difusores o luminarias de alumbrado público (AP).

Cuando se usen proyectores, éstos se montarán en baterías ubicadas en la menor cantidad posible de columnas compatible con la uniformidad de la iluminación y manteniendo un límite de uso de los ángulos de incidencia de modo de no deslumbrar sensiblemente a los usuarios del lugar.

En cambio, cuando se usan difusores o luminarias de AP, el alcance de cada punto de luz (PL) es menor y con mayor nivel de iluminancia al pie de c/u, por lo que de usarse más de una unidad por PL, obliga a elevar más la columna.

La altura de las columnas supera generalmente los 9m y está en función del área parcial a cubrir por c/u y de acuerdo a las necesidades de uniformidad, de confort visual y de limitación de sombras.

En cambio, la elección del tipo y potencia de lámpara, se efectúa en función de los niveles de iluminancia requeridos y del área cubierta por cada PL. El nivel puede variar desde 10 a 60 lux, de acuerdo a la tarea visual requerida, velocidad de desplazamientos, etc.

En el croquis I se muestran esquemáticamente algunas áreas y la posible disposición de las columnas, recomendando alturas en relación a las dimensiones del mismo y el tipo de disposición adoptado, diferenciándose fundamentalmente en **si las columnas se pueden**

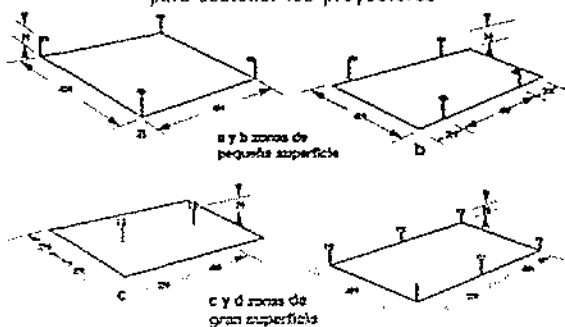
colocar en su interior, en cuyo caso tenemos el menor número y también las menores alturas, o bien se colocan en disposición perimetral, pudiendo incluso ubicarse por alguna razón a algunos metros fuera del perímetro.

En general, para el cálculo, se parte del nivel de alumbrado deseado para establecer a priori, con cuantos iluminantes tenemos que contar para lograrlo. En primer medida se selecciona la fuente luminosa, que por lo común es de vapor de sodio de alta presión por su mayor eficiencia, pero puede emplearse también a vapor de mercurio o mercurio halógeno, rara vez fuentes de incandescencia por tener un consumo de energía muy oneroso, salvo

que el alumbrado sea solo de uso ocasional y por breve tiempo.

Para saber con cuantas lámparas debemos contar se tiene que estimar una eficiencia, que va de acuerdo a si las columnas se disponen internamente, en la periferia o bien externamente al área en cuestión, proponemos las eficiencias que siguen:

Distribución habitual de columnas en un área a iluminar, para sostener los proyectores



Determinación empírica de la cantidad de proyectores necesarios para iluminar un área abierta.

E_m Nivel de alumbrado previsto. (lux)

A Área a iluminar. (m^2)

ϕ Coeficiente de depreciación de la luz (normalmente 0,80, pues adoptar valores menores por tratarse de un ambiente con mucho polvo, equivale a un mayor consumo de energía. Es preferible limpiar con mayor frecuencia.)

ϕ Flujo luminoso de la lámpara a emplear. (lúmen)

η Rendimiento del alumbrado o factor de utilización de la instalación.

Si las columnas se hallan dentro del perímetro

$\eta \sim 0,40$

Si las columnas son perimetrales,

$\eta \sim 0,33$

Si las columnas se hallan fuera del perímetro pero cercanas ($\approx 15m$).

$\eta \sim 0,20/0,25$

n° Número de proyectores y/o lámparas.

$$n^\circ = \frac{E_m \times A}{\phi \times \eta \times \phi \times d}$$

En base a la cantidad de iluminantes intentamos una disposición de columnas y distribuimos en ellas equitativamente los mismos.

Para el caso de la iluminación de parques y jardines, por tratarse mas bien de iluminación de tipo ornamental, sugerimos consultar el capítulo correspondiente, en especial si se piensa en realzar alguna zona, monumento o planta en particular.

Cuando en éstas áreas existe una profusión de árboles de copa baja y espacios abiertos reducidos, es apropiado seleccionar luminarias de montaje a bajas alturas, entre 3 a 5m de altura, tipo farola con radiación luminosa también hacia arriba de modo de destacar el follaje visto desde abajo. Estas luminarias se equipan con lámparas de baja potencia, de preferencia a vapor de mercurio pues destaca muy bien los tonos verdes, y si hay flores mejor aún con lámparas de vapor de mercurio halógeno de alto rendimiento en la reproducción del color.

Cuando se trate de espacios abiertos con plantas de baja altura, se puede tratar con columnas altas provistas de difusores de luz con lámparas de mayor potencia, cuidando que sean luminarias muy apantalladas de modo que sus brillos no compitan demasiado con el paisaje.

2 ILUMINACION DEPORTIVA

Se van a tratar aquí los requerimientos para el alumbrado específico de cada deporte, con soluciones standart, para juegos de práctica, excluyendo los casos de alta competición.

2.1 Niveles de iluminancia

Para planear el alumbrado se toma en general iluminancias sobre el plano horizontal a 1m sobre el piso, en todo el área de la cancha o pista, iluminándose también los alrededores con nivel suavemente decreciente, pues el deportista (y el juez) no solo miran el campo de juego sino también los alrededores, los que no deben ofrecer una luminancia (*brillo*) demasiado distinta al campo, por problemas de acomodamiento visual de los ojos. Por otra parte el objeto de visión mas importante suele ser la línea demarcatoria de los límites del campo o pista, para definir las infracciones o tantos. En la tabla siguiente extraída de la norma DIN 67526 indicamos los niveles de iluminancia y uniformidad requeridos para cada disciplina para desarrollar la actividad adecuadamente, como valores en servicio, teniendo en cuenta un factor de mantenimiento, por lo general de 1,25, para establecer el valor a nuevo.

Los niveles de iluminancia deben tomarse como mínimos requeridos, pero sugerimos que es conveniente incrementarlos en por lo menos un 50% cuando se prevé la participación habitual de gente mayor.

2.2 Fuentes luminosas

Para el deporte es fundamental en primera instancia una buena respuesta cromática de las fuentes de luz, por lo que según DIN 5035 T1 se deben seleccionar lámparas de grado IA y IB, en especial donde se desarrollan competencias. En general se utilizan dentro de la gama que sigue aquellas de mayor concentración de flujo luminoso, teniendo en cuenta también una buena eficiencia luminosa y larga vida. En cuanto a su color de luz, en aquellas instalaciones en que se da la presencia de la luz de día, se prefieren aquellas tipo luz de día o blanco neutro, en atención a la mezcla con la luz natural, para no originar sombras de color. Si se trata de instalaciones sin el ingreso de luz natural, es preferible usar luces cálidas.

Instalaciones interiores

Instalación	media E _h mantenida			
	Prácticas lux	Torneos lux	Prácticas	Torneos
Atletismo liviano	200	400	1:2	1:1.5
Juegos de pelota	200	400	1:2	1:1.5
Hockey	200	400	1:2	1:1.5
Badminton	200	400	1:2	1:1.5
Tenis	200	400	1:2	1:1.5
Tenis de mesa	300	600	1:2	1:1.5
Boxeo	300	1500*	1:2	1:1.5
Lucha Judo	200	400	1:2	1:1.5
Pesas	200	400	1:2	1:1.5
Esgrima	300	600	1:2	1:1.5
Ciclismo	200	400	1:2	1:1.5
Natatorios cubiertos				
Natación	200	400	1:2	1:1.5
Salto	200	500	1:2	1:1.5
Waterpolo	200	400	1:2	1:1.5
Patinaje en hielo o a rodamiento				
Carrera sobre hielo	150		1:3	
Patinaje artístico s/hielo	200	400	1:2	1:1.5
Hockey sobre hielo	200	400	1:2	1:1.5
Carrera c/patin a rued.	150		1:2	
Patinaje artístico s/ruedas	200	400	1:2	1:1.5
Hockey c/patin a rued.	200	400	1:2	1:1.5
Canchas de tenis				
Tenis	200	400	1:2	1:1.5
Canchales cubiertos para fútbol y rugby				
Pelota a paleta/Squash	400	400	1:2	1:1.5
Recorrido de equitación				
Cabalgar	150		1:3	
Salto	200	400	1:2	1:1.5
Salas para bolos				
Bolos	200	200	1:2	1:2
Stand de tiro				
Tiro	150**	150**	1:3	1:3

*Iluminación adicional solo para el ring

** Stand de tiro: se recomienda en la cabina de tiro solo luz indirecta

Instalaciones exteriores

	Eh media mantenida			
	Prácticas lux	Torneos lux	Prácticas Em / Emin	Torneos Em / Emin
Fútbol	80		1:3	
Handball	80		1:3	
Rugby	80		1:3	
Atletismo liviano	80		1:3	
Estadios: Distancia de visión*				
hasta 120m		150		1:2
hasta 160m		300		1:1.5
hasta 200m		500		1:1.5
Juegos atléticos	80	150	1:2	1:1.5
Basquetbol	80	150	1:2	1:1.5
Volleybol	80	150	1:2	1:1.5
Badminton	200	400	1:2	1:1.5
Hockey	200	300/500	1:3	1:1.5
Natación	200	400	1:2	1:1.5
Salto	200	500	1:2	1:1.5
Waterpolo	200	400	1:2	1:1.5
tenis	200	400	1:2	1:1.5
Cabalgar	80		1:3	
Salto	150	300	1:2	1:2
Doma	150	300	1:2	1:2
Carrera de trotadores	80	150	1:3	1:3
Carrera de galopeadores	80	150	1:3	1:3
Carrera sobre hielo	80		1:3	
Patinaje artístico sobre hielo	200	300	1:2	1:1.5
Hockey sobre hielo	200	300	1:2	1:1.5
Carreras de aceleración sobre hielo	80	150	1:3	1:3
Curling	80	150	1:3	1:3
Carrera c/patin a rueda	80		1:3	
Patinaje artístico a ruedas	200	400	1:2	1:1.5
Hockey c/patin a ruedas	200	400	1:2	1:1.5

Fuentes luminosas de uso común en instalaciones deportivas.

- Incandescente halogenada, en especial las de tensión de red y de forma tubular, potencias desde 500 a 2000w.
- A vapor de mercurio halógeno, en potencias de 150 a 2000w.
- Fluorescente, en especial las T12 de tipo trifósforo, de alto rendimiento de color y elevada eficiencia. Se incluye también las de tipo compacto. Se emplean en instalaciones deportivas interiores con techos o cielorrasos inferiores a 6m.
- A vapor de sodio de alta presión, preferiblemente las blanco cálidas de lujo, de 150 a 400w.

De ellas se destacan especialmente las lámparas a vapor de mercurio halógeno por la alta eficiencia, por la buena respuesta de color y por lo bien que destacan el color verde del césped, siendo las preferidas para torneos televisados.

2.3 Luminarias

Para las lámparas de descarga en arco corto se emplean proyectores de haz desde de gran concentración a los de tipo difuso, según las magnitudes del campo y a las distancias de proyección. En las instalaciones deportivas exteriores las instalaciones luminosas de noche interfieren mucho con las áreas pobladas aledañas, pues generan una campana de luz dispersa sobre el campo que produce una gran polución luminosa, pudiendo esa claridad interferir en forma indeseada con otros ambientes o inmiscuirse en ambientes privados, por lo que ya se han generado estudios normativos para delimitar estos efectos.

Por ello se recomienda emplear proyectores de tipo asimétrico cuyo plano de emisión de luz se use horizontal o ligeramente inclinado, de modo de no irradiar luz hacia arriba, con lo que se gana también en eficiencia dado que no hay desperdicio luminoso.



Es de notar el oscurecimiento de las paredes en los primeros 2m de altura para dar contraste suficiente a pelotas y jugadores

Dado su uso preponderantemente a la intemperie se requiere para su protección que tengan un grado de hermeticidad de por lo menos IP54, preferiblemente IP64 (según IEC 598 excluido todo ingreso de polvo y resiste los impactos de agua). Se debe contar también con una buena puesta a tierra, lo que hay que prever en la instalación eléctrica.

2.4 Naves deportivas.

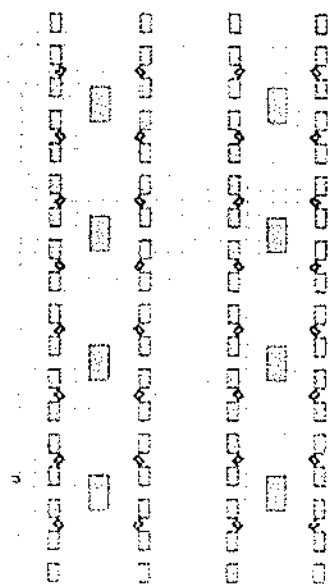
La selección del tipo de fuente de luz y luminarias que las contengan como su disposición se definen por el tipo de nave, su altura y la instalación o no de un cielorraso acústico. Esto último define si se emplean

luminarias insertadas o adosadas. En general se consideran lámparas de tipo fluorescente o a vapor de mercurio halógeno. Su distribución es regular como en todo ambiente de propósitos generales, atendiendo a satisfacer la uniformidad en todo su ámbito, salvo que se trate de un ambiente muy grande que exceda el área de juego para ubicar tribunas, o bien con áreas laterales sin uso específico, en cuyo caso el alumbrado se distribuye uniformemente sobre el área considerada útil (para varios de los deportes que se practiquen allí) y el resto contará con otra distribución mas espaciada de la misma luminaria o de otra que se considere.

Otro caso se da con techos a una o dos aguas, en que se prefiera montar las luminarias adosadas o apenas descolgadas, con lo que van variando su altura de montaje. Esto hace que para mantener un nivel parejo en techo de una agua haya que reducir también las interdistancias para compensar el incremento de altura. En caso de dos o más aguas donde la parte mas alta está en el centro, no hace falta modificar las interdistancias.

Si se emplean tubos fluorescentes, lo que es absolutamente conveniente para cielorrasos menores a 6mts. de altura, es conveniente disponer las luminarias según el eje longitudinal de la nave, tratando que para que no caiga el nivel en los extremos (donde se registran los tantos de los juegos). Esto se logra con reducir en ellos la interdistancia en esas zonas, o con incrementar la cantidad de tubos por luminaria, etc.

Una disposición de las luminarias clásica es en que las mas cercanas a las paredes se hallan apartadas de ellas a la mitad de la interdistancia con las demás luminarias, pero si hay demarcados áreas de juego muy cerca de una pared conviene reducir la distancia a ella a 1/3 de la interdistancia.



Otro aspecto a considerar es la reducción del deslumbramiento, para lo cual las luminarias deben ser correctamente apantalladas con un límite de radiación no mayor de 60° verticales, mas aún si se emplean campanas industriales con lámparas a descarga en alta presión, que por su mayor brillo exigen un apantallamiento riguroso, con inclusión de celosías que impidan la visión directa de la lámpara.

Un problema adicional es el reflejo o imagen que las luminarias puedan producir en el piso, sobre todo en los juegos de básquet que usan un piso muy brillante, lo que es muy molesto para el público sobre tribunas y sobre todo para las tomas de TV. Puede solucionarse en algunos casos adoptando una disposición cuidadosa de los puntos de luz para quitar los reflejos, pero en general no se puede evitar debido a la diversidad de puntos de observación. Se pueden reducir sus efectos aumentando los puntos de luz pero de menor potencia, para lo cual son apropiados las luminarias con tubos fluorescentes, pero lo que obviamente representa una mayor inversión.

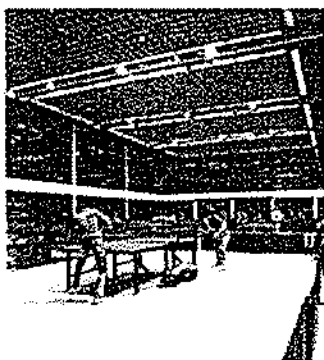
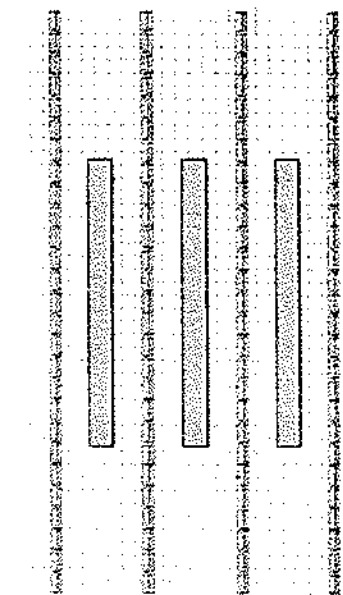
Otro aspecto importante es que las luminarias sean capaces de resistir el impacto de una pelota, sin que se dañe la misma, o su celosía, o que se desprenda la lámpara. Un buen remedio es un recubrimiento de la luminaria con una rejilla de alambre en su parte inferior, no solo para protegerse a si misma, sino también para prevenir daños a los espectadores o jugadores por posibles desprendimientos de lámparas o roturas de vidrios.

Los niveles y uniformidades a satisfacer se indican en la *tabla 1*.

Para una mejor visibilidad ayuda una buena ambientación de la nave, con pinturas o revestimientos de sus superficies de modo que tengan un techo con 70%, paredes con 30 a 60% y piso de 25% de reflexión. Una alta reflexión del techo es necesario para reducir el contraste con el brillo de las luminarias con el objeto de minimizar el deslumbramiento.

Si se juega al tenis en interiores, conviene una pared oscura en sus primeros 2 m. de no mas del 35% de reflexión, pero tampoco menos de 25% (*), para dar un fondo de alto contraste a la pelota clara.

(*) Un fondo casi negro disminuye el nivel de adaptación del ojo, lo que menoscaba su agudeza visual y rapidez de reconocimiento, reduciendo así la aptitud para el juego.



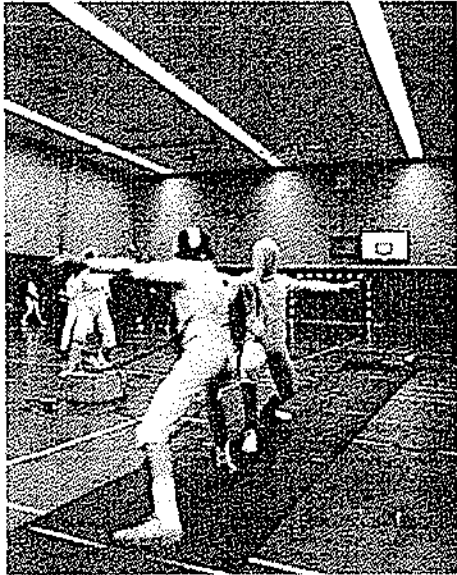
Juego de nave deportiva con alumbrado general y particular para las mesas de tenis. Es un ambiente de $45 \times 27 \times 7$ con una alumbrado general de 4×18 luminarias con celosías con tres tubos trifosforos de 58 W: 400 lux. Se recomienda para tenis de mesa 600 lux, que se obtiene con el alumbrado adicional sobre las mesas y circundante con 8×4 proyectores difusos con lámparas halógenas de 500 W.

2.5 Naves deportivas; alumbrado adicional según deporte.

Para algunos deportes que se practiquen en interiores, que exigen desplazamientos veloces o bien tengan objetos de visión de tamaño reducido, es necesario suministrar un mayor nivel para su desarrollo, con un mayor cuidado en el evitar reflejos molestos y en la tonalidad del colorido del ambiente como en la reproducción del color.

2.5.1 Tenis de mesa.

Se cuenta con una pelota chiquita y muy veloz, y hay que reaccionar con velocidad por las pequeñas dimensiones de la mesa. Se requiere elevar un 50% el nivel standart de los otros deportes (300 a 600 lux), y esto se logra generalmente con proyectores adicionales, ubicados lateralmente según los ejes de la mesa. Estos proyectores pueden ser de lámparas incandescentes halógenas de 500 o 1000w o bien de mercurio halógeno de 250 o 400w. Hay que evitar deslumbramientos directos o reflejos en la mesa.



Nave de 45 x 27 x 7 con iluminación mediante 4 x 27 luminarias con celosías blancas, con 3 tubos 3. Bandas de 58 W; 400 lux. Con dos tubos encendidos se logran 400 lux. Se recomienda para esgrima 600 lux, lo que se logra encendiendo el tercer tubo.

2.5.2 Esgrima.

Este deporte se caracteriza por acciones sumamente rápidas, difícil de seguir visualmente y reconocer los toques, por ello se exigen mayores niveles de iluminación horizontales que para otros deportes según se aprecia en la tabla. Es conveniente que la luz llegue transversalmente a la pista, de modo que las luminarias se disponen paralelas a ambos lados de ella. Si se trata de una sala de usos múltiples con un nivel más reducido, se puede agregar una luz suplementaria, por ej 4 ó 6 proyectores de radiación estrecha con una lámpara inc. halógena de 1000w, la mitad a cada lado iluminando transversalmente a la pista.

Es fundamental que el deportista desplazándose por la pista no vea ningún reflejo que menoscabe su visión.

La iluminación fluorescente es por mucho la más conveniente. Para varias pistas paralelas las luminarias se disponen en filas paralelas laterales entre pistas. Conviene emplear luminarias de 3 tubos, en que para uso de entrenamiento alcanza con encender solo dos.

2.5.3 Boxeo

Solo la atención constante y eficiente del árbitro puede evitar daños importantes en los antagonistas o percibir incorrecciones. Es más difícil aún para el público percibir claramente los avatares de la lucha. Por ello la gran diferencia de niveles entre el mero entrenamiento, en que son suficientes 300 lux, que para el torneo en que se exigen cuanto menos 1500 lux en el plano horizontal, que pueden alcanzar los 10000 lux para los grandes combates, con una gran campana luminosa con tubos fluorescentes sobre el ring.

Para los torneos es importante que los combatientes vistos por un observador no pierdan contraste cuando estén contra las cuerdas más cercanas a él. Por ello la luz debe provenir desde afuera del área del ring, desde los cuatro laterales. Esto hace aconsejar el uso de

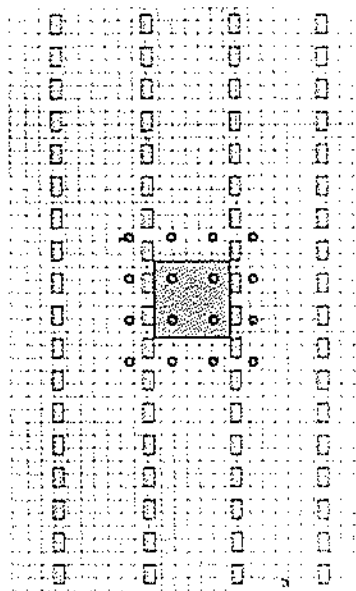
proyectores de haz estrecho (lámparas inc. halógenas o a vapor de mercurio halógeno), dispuestos en el techo alrededor del ring, formando un ángulo vertical entre 30° y 45° con la vertical en su centro. El resto del ambiente ocupado por el público suele dejarse en oscuras para lograr la mayor concentración e interés del mismo.

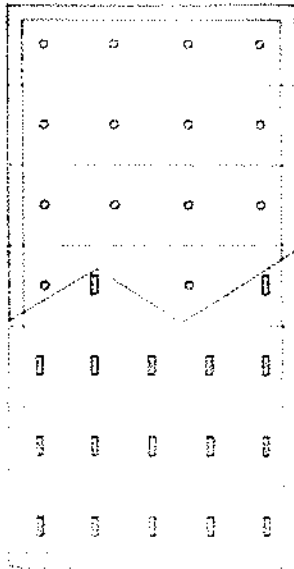
2.5.4 Pelota a paleta. (en canchas cubiertas)

Se juega entre paredes claras, con reflexión aproximadamente de 60%, y una pelota negra, cuya velocidad puede llegar a los 200 km/h. Es conveniente que el piso tenga una reflexión mayor al 30%.

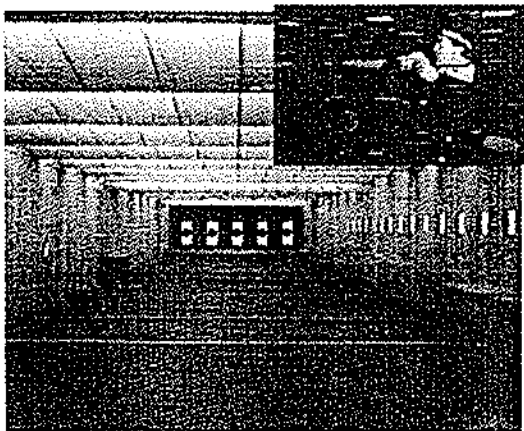
Los jugadores se ven obligados a rápidos giros y cambios de posición. La norma exige un nivel de alumbrado horizontal de 400 lux con una uniformidad muy exigente de 1:1,3. La mejor solución es proveer dos filas de luminarias fluorescentes según el eje de la cancha, con una fila transversal cercana a la pared frontal. Estas luminarias se montan preferiblemente embutidas y protegidas con una lámina traslúcida de plástico resistente a los pelotazos. Esta solución permite superficies de luminancias muy parejas, con una alta componente de luz indirecta.

Es posible también el uso de luminarias muy difusas con lámparas a vapor de mercurio halógeno dada la altura del cielorraso, pero el resultado es menos satisfactorio.





La iluminación de aproximadamente 200 lx se logra en una nave de 22 x 42 m de dos formas; una con 7 x 5 luminarias difusas con dos tubos de 3-Bandas, dispuestas paralelas al eje mayor de la nave. Otra con 7 x 4 luminarias difusas, equipadas con lámparas de haluros metálicos de 150 W. Si se prevén torneos debe duplicarse la iluminación para lograr 400 lx.



Nótese que las luces quedan fuera de la vista del tirador, y las propias del stand de tiro se hallan detrás de él para evitar reflejos sobre el arma.

2.5.5 Equitación

A diferencia de los demás deportes, en éste se considera también y en primacía la capacidad visual del caballo. En ellos es muy conocida la capacidad de ver en el crepúsculo de la luz natural pues su sensibilidad al contraste es superior al ojo humano. Por ello es menester evitar altas diferencias de luminancias y sombras fuertes para no inquietar a las cabalgaduras y evitar así accidentes a ellos y a las personas. En cambio al jinete se le presentan problemas visuales menores, solo es menester una buena percepción en profundidad para evaluar correctamente las distancias.

Todas las disciplinas de equitación pueden realizarse con niveles relativamente mas bajos que para otros deportes: 200 lux para entrenamiento y 400 lux para torneos a nivel del piso. Para el cálculo del nivel de alumbrado mantenido se recomienda utilizar un factor de 1,5 dado la gran deposición de polvo que produce esta actividad. Por lo mismo es exigible una protección IP65. La radiación de las mismas conviene que sea del tipo difusa para no producir sombras notables que con el movimiento del animal lo inquieten.

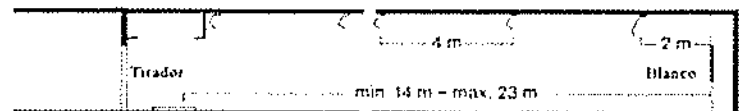
2.5.6 Tiro

Esta actividad se desarrolla en un ambiente totalmente aislado y el alumbrado debe cumplir diferentes exigencias en dos ambientes diferenciados. Uno es el sector protegido de espera y descanso, donde se ambienta de forma sosegada, y el otro es el stand de tiro donde se manipulean artefactos de alta precisión que exigen condiciones de alumbrado muy distintas. Para esta actividad no se diferencian niveles para prácticas y torneos.

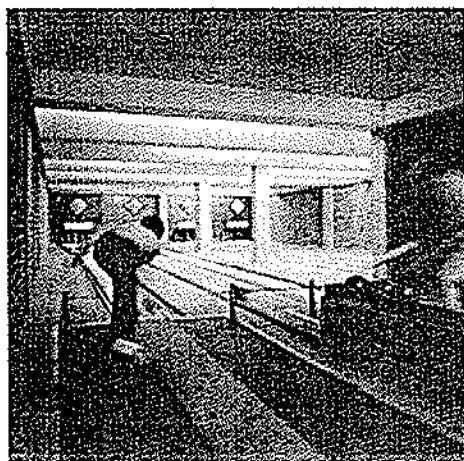
En general para el stand de tiro y para la galería y sector de descanso se solicita un nivel horizontal de 150 lux, en cambio para el blanco un nivel vertical hacia el tirador de 700 lux. Se recomienda una iluminación con tubos fluorescentes, y en el stand de tiro especialmente con un alumbrado de luz indirecta para no producir reflejos sobre los metales. En la galería de tiro no debe ser visible ninguna luminaria, por lo que deben ser apantalladas y protegidas de los disparos, dispuestas transversalmente, iluminando siempre hacia delante. Lo mismo se hace con el blanco, solo que con una luz muy intensa pero proveniente de una luminaria difusa extensa, para no producir reflejos en el blanco hacia el tirador.

Se recomienda la siguiente capacidad de reflexión de las superficies: Pared detrás de los blancos 20-30%, otras paredes 40-60%, cielorraso 60-70% y el piso mejor que 20%.

Atención: Los blancos deben ser iluminados de tal modo de no proyectar sombras notorias a la paredes detrás de ellos, visibles para el tirador.



Para las prácticas de tiro es esencial la ausencia total de brillos de las luminarias, y también sobre el metal del arma. Iluminación general de 150 lux por vía indirecta, 700 lx vertical sobre el blanco (no más, para no hacerlo excesivamente brillante, pues puede encandilar y borrarse la imagen de los círculos).

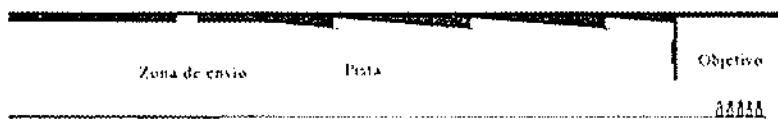


Vista desde el área de lanzamiento del juego de bolos. Ausencia de brillos molestos por luminarias difusas ocultas.

2.5.7 Bowling

La forma mas habitual de iluminar las pistas de bowling es con luminarias con tubos fluorescentes, dispuestas transversalmente a ellas, instaladas convenientemente de modo que no sean visibles desde la posición de envío, o bien apantalladas, para un nivel mantenido de 200 lux. La relación de distancia / altura no debe superar a 1,5 de modo de lograr buena uniformidad.

El área de los pines debe tener por lo menos un nivel de 500 lux vertical, también con disposición apantallada. En cambio el box de disposición automática de pines tiene su propia iluminación. Recomendamos una iluminación de color de luz cálida y con buen rendimiento de la reproducción del color.



Ambiente con luz preponderantemente difusa, con luces fuera de la vista del lanzador, con una iluminación localizada en el parador de bolos.



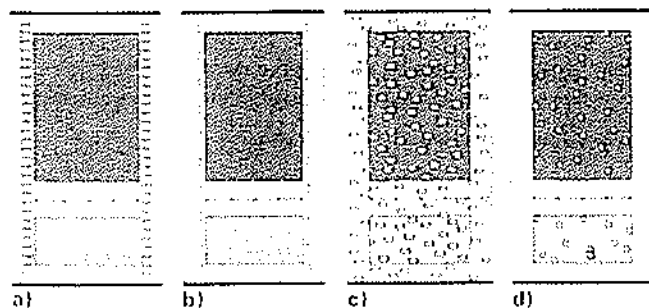
Fisicoculturismo

2.5.8 Gimnasios

El fisicoculturismo, y también la gimnasia remodeladora de cuerpos ha tomado actualmente un gran auge, y los gimnasios presentan ambientes diferenciados, como los de aparatos, saunas, solariums, y hasta un área de relax. No se dan indicaciones precisas de niveles de alumbrado, pues con el propósito de hacerlos atractivos al público se recurre a ambientarlos con la luz de forma de resaltar áreas. De todas formas en la sala de gimnasia, se recomienda un alumbrado de bajos reflejos, con lámparas fluorescentes, pues los aparatos de gimnasia suelen presentar cromados que pueden producir reflejos molestos para los usuarios. La luz conviene que sea de color cálido o neutro, con alto índice de rendimiento de color.

2.5.9 Piscinas cubiertas

Un buen alumbrado de piscinas debe cumplimentar las exigencias visuales no solo de los nadadores y público, sino también de jueces, entrenadores y personal de mantenimiento, pero también satisfacer las recomendaciones de seguridad y de resistencia a la corrosión. Para las necesidades de prácticas de natación o entrenamiento un nivel de 200 lux es suficiente, pero para competición con público se requieren 500 lux, con 200 lux vertical, con luz de buen rendimiento de color y de tonos neutros, para destacar naturalmente el color de piel. Para saltos ornamentales se requiere un nivel vertical de 500 lux a ambos laterales de los trampolines, en toda su altura y alcance.



Piscinas a y b con alumbrado lateral accesible desde los laterales, por tener el techo inaccesible, mediante luminarias fuertemente asimétricas.

Las luminarias deben ser herméticas, por lo meno IP65, con superficies resistentes al cloro, la tornillería y elementos metálicos exteriores conviene que sean de acero inoxidable. Los cuerpos y accesorios de plástico deben resistir específicamente la acción del cloro.

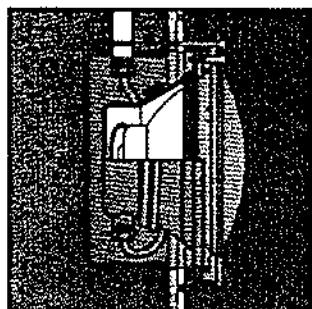
Es conveniente agregar también un alumbrado subacuático pues la visión de lo que ocurre bajo el agua desde afuera es difícil solo con este tipo de alumbrado. Piscinas c y d con alumbrado de distribución uniforme, con techo accesible desde arriba. Estas piscinas no requieren obligadamente un alumbrado subacuático.

Si la piscina solo cuenta con un techado la disposición de las luminarias debe ser lateral encima de las aceras laterales, por razones de mantenimiento, con distribución de luz asimétrica apuntando al centro de la misma. Si se dispone de un cielorraso con acceso superior es posible en cambio una distribución uniforme en todo el área.

En general hay que evitar iluminar en exceso a las paredes claras, como también conviene que el cielorraso sea semioscuro, para reducir el reflejo de las superficies en el agua e impidan la visión subacuática. Si ingresa luz natural por algunas aberturas, también hay que cuidar de que ilumine fuertemente alguna superficie por la misma razón.

El reflejo de superficies o luminarias extensas en el agua impide ver lo que ocurre por debajo de la misma en la piscina, lo que trae inseguridad a los aprendices de natación, impide a los entrenadores ver defectos en los movimientos de sus pupilos bajo el agua, lo mismo a los jueces en los torneos, como también advertir alguna inmersión accidental a los bañeros.

Por ello es imperioso tratar de obviarlos, y el mejor remedio es mediante una iluminación subacuática, que exige paredes claras de la piscina, y una iluminación de por lo menos 1000 lm/m², mediante luminarias situadas en los laterales, (no en las cabeceras pues encandila a los nadadores), a 0,6m debajo del pelo de agua para que mediante la reflexión total incida mas luz hacia el fondo, distanciadas entre sí máx 2,8m. Para natación rítmica conviene aumentar la iluminación subacuática a 1500 lm/m².



a = max. 2,8 m, b = 0,6-1 m



Detalle de disposición de luminarias para el alumbrado subacuático. Se requieren como mínimo 1000 lm por m².

En general se recurre a lámparas incandescentes Flood de reflector incorporado de 60° y 300w en 12v dentro de luminarias herméticas, en nichos abiertos, solo protegidos por una malla metálica o de plástico. Con la baja tensión hay muy reducido peligro eléctrico, pero no conviene usar lámparas simplemente sumergidas por la corrosión de los electrodos con el cloro.

Para este cometido se emplea también la iluminación subacuática por fibra óptica, pero más bien con fines decorativos en piletas particulares. Es un sistema caro pero de gran seguridad pues no hay elementos eléctricos bajo el agua.

2.6 Deportes en exteriores

Características generales de la iluminación en exteriores

Iluminación: Como el campo de juego iluminado forma la mayor parte área de visión tanto para los jugadores como espectadores, es la iluminancia del plano horizontal sobre el suelo E_h la que sirve principalmente para establecer el estado de adaptación del ojo como también el ajuste a la luz recibida por las cámaras de TV.

Por ello, y porque el campo iluminado sirve a los jugadores, espectadores y cámaras como un fondo visual, es importante contar con un adecuado nivel de iluminancia sobre él.

Además, la iluminancia en planos verticales E_v es esencial para observar siluetas. El costado de un jugador visto por un espectador puede aproximarse a un plano vertical normal a la dirección de visión. La escena iluminada, y particularmente la iluminancia vertical, tiene una mayor influencia en la calidad de una imagen televisiva.

Para garantizar una identificación satisfactoria de los jugadores desde todas las direcciones de observación, se requiere satisfacer un nivel especificado de iluminancia en mínimo las cuatro planos verticales ortogonales respecto a los ejes del campo. En general las necesidades de iluminancia vertical para jugadores y espectadores son satisfechas si a su vez se satisfacen los requerimientos de la iluminancia horizontal.

Los niveles necesarios de iluminancia vertical debe definirse específicamente para los requerimientos de la TV de alta resolución y para filmaciones.

Además es muy necesaria para seguir la trayectoria de la pelota en elevación. También para las tribunas y espectadores, las iluminancias verticales, como una fracción de la del campo de juego, es esencial para las imágenes de fondo de las tomas de TV.

Uniformidad de la iluminación: La apariencia del campo de juego o de las pistas en primer medida dependen de la distribución de las iluminancias horizontales.

Para entrenamiento es aceptable una relación $g_l = 1:3$ y para competencias $g_l = 1:1,5$.

Pero una distribución uniforme de iluminancias no significa necesariamente la misma distribución de brillos o luminancias, ya que estas dependen de las características de la superficie del campo.

Por ejemplo, tratándose de un campo de césped, su apariencia dependerá en cada zona no solo de la iluminancia, sino también del largo del corte, de su grado de humedad, del estado de uso, del ángulo con que incide preponderantemente la luz y de la dirección desde dónde es visto. Por ello siempre los extremos y esquinas de un campo parecerán mas oscuros a pesar que tengan buen nivel de iluminación. Por ello, tratándose de juegos con arcos en los extremos del campo, conviene iluminar los mismos a mayor nivel, lo mismo a las líneas límites que definen el fuera de juego.

El alumbrado también deberá cubrir la altura necesaria para que un balón no se pierda en el cielo nocturno. También el objeto de juego debe ser suficientemente claro para contrastar lo necesario contra el fondo con que es visto. Por ejemplo, pelotas claras en fútbol, rugby y tenis, donde pueden ir tan elevadas que deben contrastar con el cielo oscuro. O bien oscuras como en el jockey o la pelota a paleta, en que esa situación no se da.

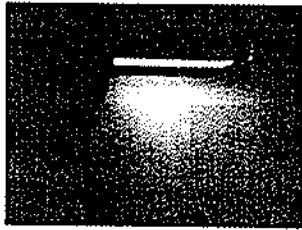
Sombras: Debe preverse que las sombras de jugadores o postes no sean tan duras. Esto se consigue iluminando cada punto del campo desde varias direcciones. El mejor resultado se logra con anillos luminosos que circunscriben el campo, pues producen gran número de sombras según radios, de escasa diferencia con el brillo del campo circundante por lo que prácticamente pasan desapercibidas.

Deslumbramiento: Hay que distinguir entre el deslumbramiento al público que presencia un juego, y el que puedan tener los jugadores. En el primer caso, se reduce sus efectos con una disposición adecuada de los iluminantes, o bien si esto no es posible, recurriendo a pantallas o celosías que reduzcan su brillo. Debe evitarse especialmente la exposición de las fuentes de luz.

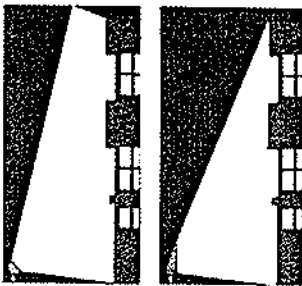
Para los jugadores es prácticamente imposible evitar el deslumbramiento, debido a su constante cambio del ángulo de visión, variando con ello su grado de intensidad en relación al apartamiento angular de la dirección visual respecto a los iluminantes. Por ello habrá que posicionar las luminarias en zonas del campo de juego hacia donde la dirección de visión sea menos frecuente.

Cuanto mas alto se hallan las luminarias menor es el deslumbramiento; también se reduce con una disposición mas separada entre ellas.

Rendimiento de color de la luz: Distinguir los colores con rapidez es exigible, para que los jugadores distingan fácilmente entre propios y contrarios. Es recomendable por ello emplear fuentes de luz con alto rendimiento de color, mínimo categoría 2B. (R_a entre 60 y 69). Para prácticas y entrenamientos solamente esto no es exigible.



Posición de uso de proyectores asimétricos que evitan la contaminación luminosa.

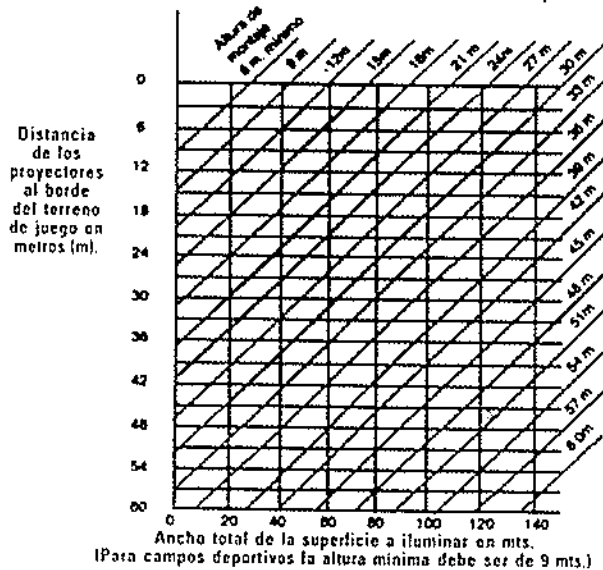


Iluminación de fachadas: la posición de uso de un proyector asimétrico evita daños y reduce la acumulación de suciedad al vidrio, además de reducir la contaminación luminosa.

Gráfico que permite definir las alturas de columnas laterales de alumbrado en función del ancho del campo de juego y del apartamiento de las mismas a los bordes del mismo.

Alumbrado Deportivo

Altura de montaje de los proyectores en el alumbrado deportivo



Inmisión luminosa: Se refiere a las molestias o discapacidades visuales que pueda provocar una instalación luminosa con la luz que escape de su ámbito accediendo a áreas adyacentes, donde se inmiscuye destruyendo los efectos especiales de alumbrados decorativos existentes, o deslumbre a paseantes, conductores de vehículos o simplemente observadores dentro de propiedades vecinas. Actualmente varios países tienen en estudio normativas sobre la limitación de estos efectos nocivos, tanto para los carteles luminosos, como también para alumbrados públicos e instalaciones deportivas externas, de acuerdo a los ambientes luminosos según tipos de asentamientos en sus alrededores, y sobre los horarios permisivos.

También señalan algunos biólogos que la luz perdida tiene efectos ecológicos negativos, dado que afecta fuertemente a algunos insectos nocturnos en sus hábitos de reproducción, pues son atraídos fuertemente hacia las fuentes de luz donde mueren por efectos térmicos, lo que trae también desequilibrios biológicos que afectan a sus depredadores.

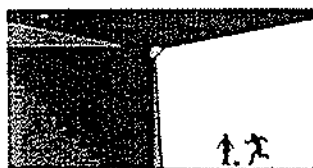
Por ello ya es común en Europa exigir en los proyectos luminicos de estadios deportivos que se informe respecto a las intensidades luminosas que según cálculos puedan escaparse fuera de los límites de los mismos, aunque aún no se hayan establecido límites precisos de prevención. En prevención de esto varios fabricantes de luminarias han desarrollado ya proyectores asimétricos de uso horizontal y luminarias modernas que minimizan el escape de luz hacia el hemisferio superior. Esto además de resolver el problema aumenta la eficiencia de la iluminación. Las limitaciones valen también para el reflejo que producen los campos del juego, cuando no los rodean altas tribunas que los obstruyan. Se exige entonces medios de apantallamiento, que bien puede ser el rodearlos de una arboleda alta y tupida de hojas perennes, o alambrados altos con paños oscuros.

2.6.1 Iluminación de campos de fútbol y rugby Recreacional y/o entrenamiento.

De acuerdo con el Comité 4 del C.I.E., se recomienda una iluminación horizontal media a 1m sobre el campo de juego de 50 a 150 lux, con una uniformidad de 1:4 entre el valor mínimo y el valor promedio, pero siguiendo otras recomendaciones como la alemana los valores aconsejados se indican en la tabla 1. Estas recomendaciones son extensibles a todos los juegos en exteriores con pelota grande, como es el caso del rugby, handball y otros.

De todos modos la selección de la fuente de luz depende de las consideraciones económicas en función de las horas de uso al año, del costo de la energía eléctrica y del costo de la instalación.

En canchas de fútbol destinadas a prácticas o entrenamiento, se recomienda instalar 3 ó 4 postes en cada lateral, a prox. 5m de los límites de juego, de 16m de altura libre. Los postes extremos conviene colocarlos en las esquinas, a 5m detrás de la línea de gol. Esta medida permite levantar los niveles en las esquinas solo mediante la luz dispersa de los proyectores de esa columna, sin necesidad de apuntar uno de ellos específicamente a la misma, como sucedería con la disposición exclusivamente lateral. Esto es una ventaja importante cuando se proyecta un alumbrado de bajo nivel con pocos proyectores.

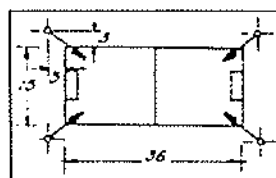


Iluminación del deporte: los proyectores asimétricos, además de reducir la polución luminosa, proyectan toda la luz en el campo de juego por lo que ganan en eficiencia, y además no deslumbran al público.

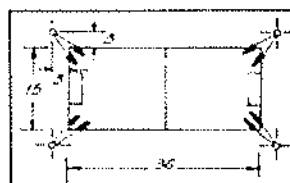
Además con la disposición en esquinas permite iluminar el área chica con luz que procede desde las espaldas del arquero, de modo de no encandilarlo, y permite a éste ver a los atacantes iluminados de frente y no de atrás (*a contraluz*) como es el caso de las disposiciones exclusivamente laterales.

Fútbol 5 exterior

Ejemplos:



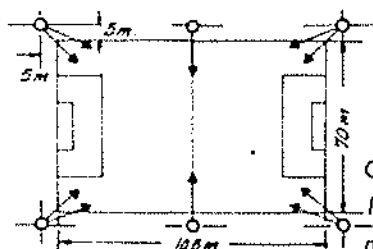
Columnas de 12m de altura, c/u con 1 proyector con lámpara de haluros metálicos de 400 W: $E_h = 80 \text{ lx}$



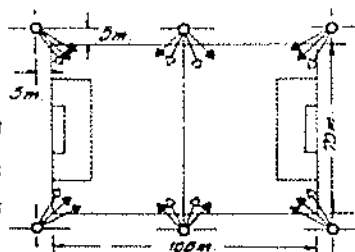
Columnas de 12m de altura, c/u con 2 proyectores con lámpara de haluros metálicos de 400 W: $E_h = 150 \text{ lx}$

Fútbol reglamentario:

Ejemplos:



Columnas de 14m de altura, con en total 10 proyectores con lámparas de haluros metálicos de 2000 W: $E_h = 100 \text{ lx}$

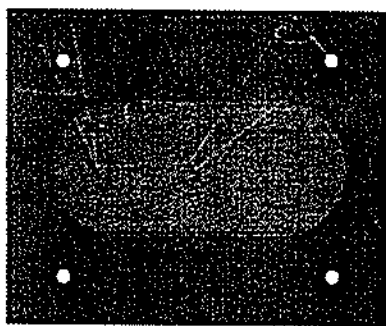


Columnas de 16m de altura, con en total 20 proyectores con lámparas de haluros metálicos de 2000 W, 8 concentradores y 12 difusores: $E_h = 230 \text{ lx}$

Campo de juego con espectadores.

La buena visibilidad para los espectadores para seguir las alternativas del juego depende de un mayor nivel horizontal dado la gran distancia de visión, pero también se requiere contar con buenos niveles de iluminancias verticales para el mejor reconocimiento de los jugadores, dado que así se consigue un mejor contraste entre las siluetas y el campo de juego.

Como la iluminancia horizontal es la más práctica de medir y calcular, las recomendaciones se basan en ellas referidos a un plano horizontal de 1m sobre el campo. Esto en general garantiza también el logro de un importante nivel vertical si se siguen las indicaciones sobre la situación y altura de los puntos de luz donde se concentran los proyectores.



Croquis que demuestra el posicionamiento recomendado de las columnas y la definición de su altura.

Los requerimientos de iluminancia varían en función de la cantidad de espectadores basado en que cuanto más sean éstos obliga a una mayor distancia del espectador en ubicación más desfavorable al punto más lejano del campo. Estos requerimientos se citan en la tabla anterior.

La uniformidad entre el valor mínimo y el valor medio debe ser de 1:1,5 en condiciones óptimas, pero las limitaciones prácticas y económicas hacen necesario aceptar uniformidades menores a la ideal, que es usual para los niveles mas bajos, dado que se emplean proyectores potentes y costosos como para distraer algunos para levantar específicamente la iluminación baja en los bordes del campo. En estas

circunstancias es aceptable una uniformidad mejor que 1:2,5.

Aún cuando se satisfagan las recomendaciones sobre niveles de iluminancia y uniformidad en la instalación, debe evitarse las variaciones bruscas de nivel en corta distancia, pues empobrece la imagen que el espectador recibe del campo y además obliga a rápidas acomodaciones del ojo que inducen a la fatiga visual y el discomfort.

Disposiciones de las columnas más usadas

Modernamente es común el uso de 4 columnas altas en las esquinas, con las ventajas antes mencionadas y otra más importante, que tiene que ver cuando se televisan los partidos, porque así en las jugadas de gol frente a los arcos, los jugadores quedan bien iluminados hacia las cámaras detrás de los arcos. Las disposiciones exclusivamente laterales son deficitarias en esto.

Para ubicar correctamente las columnas hay que observar los ángulos laterales indicados en el croquis, en que el área rayada es el apropiado donde situarlas. Indicativo para sus alturas es en que si la distancia al centro del campo de juego fuera de 90m (detrás de tribunas) la altura recomendada se obtiene de la tg de 25° más la altura a los ojos standart de 1,5m, lo que nos da aprox 43m. Esta altura permitiría un alumbrado con un mínimo aceptable de deslumbramiento, considerando que algunos proyectores apuntan cerca del área opuesta para buenas imágenes televisivas.

2.6.2 Tenis.

Si bien es más común jugar al tenis de día, dado los elevados requerimientos visuales del mismo, se requiere cada vez mas en los clubes la iluminación de las canchas para prácticas nocturnas, debido a la extensión de la actividad a horas después del crepúsculo, sobre todo en verano huyendo del calor, y por lo corto del día en invierno. Además es uno de los deportes preferido por muchos oficinistas que solo pueden practicarlo en horas tardías.

Para jugar al tenis hay que tener en cuenta dos puntos esenciales, dado la gran velocidad y el pequeño tamaño de la pelota. *Buen contraste y ausencia de deslumbramiento.*

Para percibir con rapidez la trayectoria de la pelota chica y muy veloz no solo se requiere una buena iluminación, sino también un *elevado contraste* de ella respecto el fondo con que se observa.

El fondo lo constituye el campo de juego y también la parte baja del alambrado que lo circunda. La pelota es muy clara, actualmente de color amarillo (60% de reflexión), por lo que conviene que la superficie del campo de juego sea oscura, lo mismo que el alambrado. Para ello se reviste a éste con un paño oscuro, generalmente de color verde, con una reflexión de aprox. 25-30%. (no debe ser negra pues afectaría la alta adaptación necesaria del ojo).

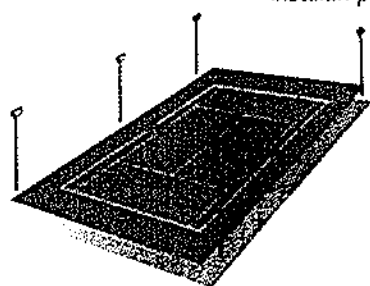
De día, por la abundante luz natural, el ojo esté adaptado a un alto nivel de luz, con lo que el jugador tiene una respuesta visual suficientemente rápida, que no disminuye al ver el campo de juego relativamente oscuro, lo mismo que el alambrado.

Lo mismo debe suceder de noche, por lo que con campos de visión relativamente oscuros, se requiere un alto nivel de alumbrado para lograr una respuesta visual suficiente. Esto hace que para juegos de alta competición se requieran niveles de alumbrado superiores a 1000 lux.

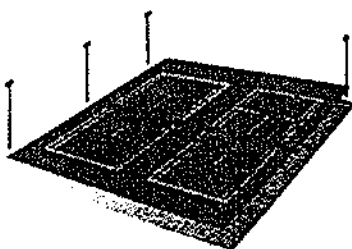
Además el jugador no debe ver destellos fuertes que lo deslumbren, sobre todo en la jugada de saque. Una buena medida es que parado en la línea de saque, no pueda ver el brillo de las lámparas que iluminan desde el lado opuesto. Por ello es aconsejable proyectar la iluminación de modo que los proyectores situados en un lado de la red, no apunten hacia el otro lado, y que se hallen suficientemente inclinados o apantallados de modo que no se vea el destello de la lámpara desde la línea de saque del otro lado de la red.

La disposición de los iluminantes es aquí preponderantemente lateral, pero hay que tener cuidado de que la pelota en su recorrido no se le cambie fuertemente la orientación de la sombra (modelado), lo que puede llevar a un engaño respecto a su velocidad y posición al intentar contestar en juegos muy exigidos y veloces.

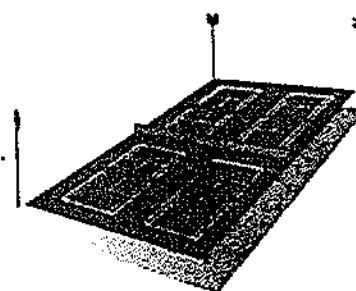
Por ello las columnas extremas convienen que estén justo o unos metros detrás de la línea de saque. Además se colocan sendas columnas centrales en línea con la red, para no obligar a las columnas extremas a alturas muy costosas, para iluminar el centro del área sin peligro de deslumbramientos. Por ello para instalaciones de prácticas y para torneos de clubes se instalan por lo menos 6 columnas por cancha.



Cancha single con 6 columnas min 9m, con 15m de separación lateral entre ellas, 300 lux con 12 proyectores difusos con lámp. de mercurio halógeno de 400w, y 400 lux con 8 idem pero de 1000w.



Cancha doble con 6 columnas de 12m, con 15 m de separación lateral entre ellas; 200 lx con 8 proy. de mercurio halógeno de 1000w, y 400 lx con 6 de 2000w.



Cancha cuádruple con 4 columnas de 15m, dispuestas en las esquinas; 400 lx con 16 proy. de mercurio halógeno de 2000w.

2.6.3 Hockey:

Iluminancias: Los niveles recomendados para el hockey se informan en la tabla 1, en que para competición regional Eh alcanza 300 lx, pero para torneos nacionales son necesarios cuando menos 500 lux. Para competencias internacionales valen los requerimientos de TV, el nivel de Ev debe alcanzar cuando menos 1500 lx dado el pequeño tamaño de la pelota y las velocidades que toma., que puede llegar a requerir 2000 lx para tomas con TV de alta definición.

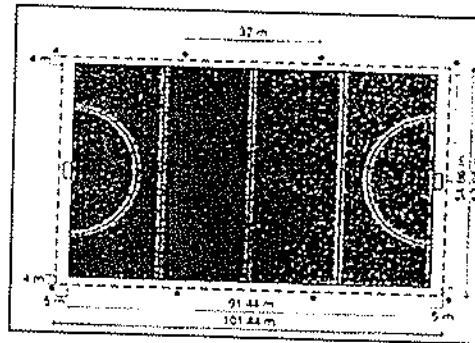
Uniformidad: Los requerimientos de uniformidad para las iluminancias horizontales y verticales son mas exigidas para TV que para jugadores y espectadores pues el ajuste de la sensibilidad del ojo es mas flexible que las cámaras. Es principalmente la uniformidad horizontal la que determina los rangos de brillo de toda la escena, por lo que su satisfacción es primordial.

Tabla 2 Requerimientos de uniformidad por la Federación Internacional de Hockey (FIH)

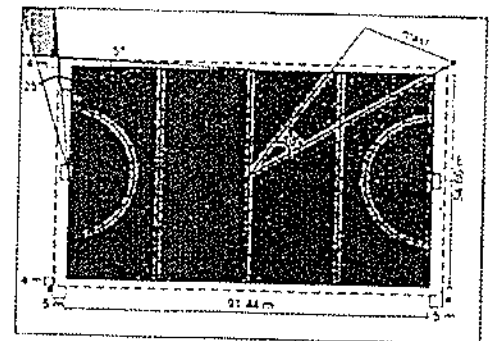
Nivel	Actividad	Ilum. mínima	Ilum. máxima
I	Recreacional -- entrenamiento físico	0.5	0.7
II	Entrenam. con pelota, competencias menores	0.5	0.7
III	Competencia nacional e internacional	0.5	0.7
IV	TV Horizontal:	0.5	0.7
	TV Vertical:	0.4	0.6
V	TV alta defin. Horizontal:	0.7	0.8
	TV Vertical:	0.6	0.7

Además, la relación entre las iluminancias verticales mín y máx según las 4 direcciones ortogonales, en cada punto sobre la grilla de medición, será ≥ 0.6

Instalaciones de iluminación recomendadas por el FIH



Recomendado para recreacional (sin tribunas), altura mínima 12m.



Disposición con 4 columnas en diagonal, para torneos con tribunas y tomas de TV, con indicación del área de ubicación preferencial de las columnas y definición de sus alturas.

Para lograr la mejor uniformidad y poca incidencia de sombras se recomienda la disposición de los iluminantes en hileras (sobre el techo de tribunas).

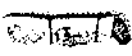
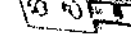
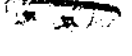
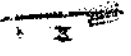
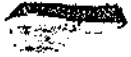
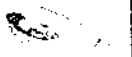
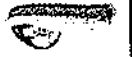
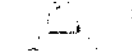
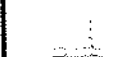
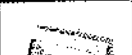
2.6.4 Mantenimiento:

Uno de los problemas comunes en instalaciones luminosas para el deporte con proyectores de acceso frontal, es que para cambiar la lámpara quemada es necesario volcar el proyector para atrás. Luego se intenta volverlo a su posición primitiva, lo que es difícil si no se tomaron recaudos previos mediante marcajes, o se cuenta con un sistema de topes que aseguren el retorno exacto a su posición primitiva, con lo que es frecuente ver instalaciones antiguas con los proyectores apuntando a veces fuera del campo de juego, en detrimento del nivel luminoso y la uniformidad. Los proyectores con acceso posterior resuelven bien este problema, pudiéndose reemplazar la lámpara sin moverlo de su posición de enfoque. Los proyectores de acceso lateral también permiten el recambio sin moverlo, siempre que no tengan otros al lado en montajes agrupados.

Insistimos que los proyectores cuenten siempre con dispositivos de topes, que deben ser ajustados al instalarlos. El no tomar esta medida (lo que se ve con frecuencia aún con proyectores con topes), y el empleo de personal no capacitado para la instalación o el mantenimiento, hace que las instalaciones con el tiempo pierdan eficacia y/o deslumbren desmedidamente. ■

Strand

Apoyo técnico sin limitaciones, un laboratorio trabajando permanentemente para Usted.
Luminarias de excelente distribución luminica y mínimo gasto para su mantenimiento.
Menor costo final. Mayor vida útil. Seguridad en el servicio de repuestos.

									
SRADS M1-M2	9DJ 800	SLIB 2400	SR 1200	SR 2400	SL 1000	SL 1400	SL 40 RC	SRADS M1	SRADS M2
									
RC 801	RC 800	RC 840	RC 705	MBA 70	RC 380	JC 70 PC	JC 70 V	JC 250 TUC	NEU 250
									
RC 350	JC 70 C/BRAZO	RC 300	AT 35	EROS 500 PC	EROS 500 CO	CO 2000	CO 2451	CO 2452	CO 2453 PC
									
JC 70 CO	MBA 70 CO	SR 670	SR 660	FAR BACO II	A E ROS	A 3 E	A 1 E	A3	A1
									
NC 4V/C	NC 4V/B	MP 2/B	MP 4	CFR	CFR - S	CFR - V	CFR - H	CFR - VP	CFR-GUARDIAN
									
LSPR-CPA	F 195	F 91	F 294	F 192	F 3400	F 200	EP 80 G	EP 50	EP 60 VD
									
LSPR-CPB	FUTURA	PML	G 43 PC	SL 4-400	SL 4-400 T	PAY 4V PM	PAY 4V CP	PAY A2	FAROLA THAIS
									
F 1200	FAROLA ST 640	BRAZO ART. C/G	BRAZO C/FAROL	F 800	SDL-2-390	SDO 47-1	SBF 1 B7	SFL 1 C	FPVT
									
L 8000	L 4000 H	PWR 1500	PWR 2000	L 400	L 1500 GO	L 1500 C/LOUVER	L 1000 CP	LN 1500	LN 2000
									
PUL 2-4	PUL 4	PUL 1A	PUL 1S	ABF 1	ABF 2	ABF 3	L 500	LEST	LEST CP
La más extensa línea en alumbrado exterior Solicite nuestro catálogo Strand no consume divisas ni las envía al exterior									
					L 300	L 300 E 27	L 300 C/LOUVER	L 600	UM 225 C