

Procesos de Fabricación

Lectura 6

Análisis de iluminación en el entorno de trabajo

Profesor:

Ricardo Caballero, M.Sc.

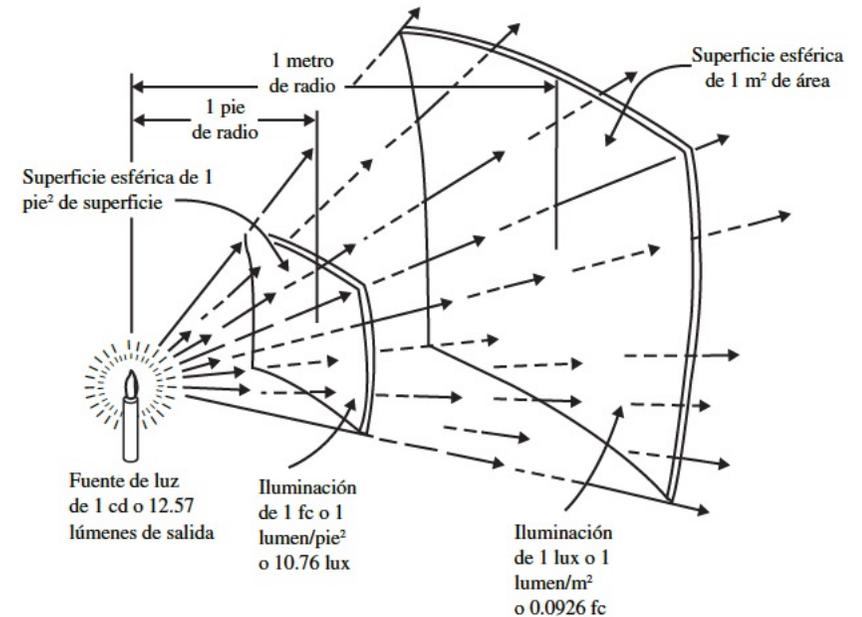
✉ ricardo.caballero@utp.ac.pa



Iluminación

Se refiere al conjunto de dispositivos que se instalan para producir ciertos efectos luminosos, tanto prácticos como decorativos.

- Tiene como objetivo brindar el nivel de iluminación - interior o exterior - adecuado al uso que se quiere dar al espacio iluminado, nivel que dependerá de la tarea que los usuarios hayan de realizar
- La cantidad de luz que incide sobre una superficie o una sección de esta esfera se llama iluminación o **iluminancia**



Parámetros para la selección de fuentes de luz artificial

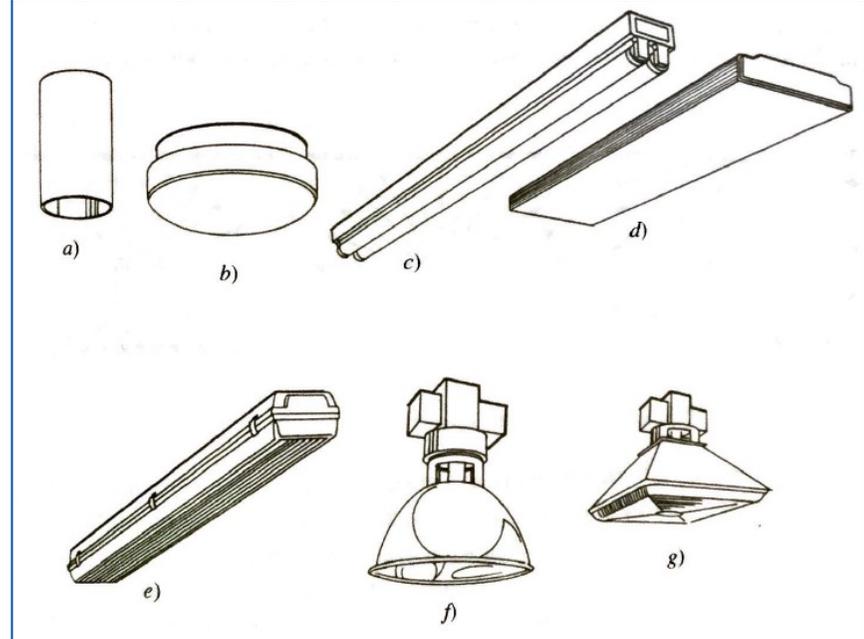
Rendimiento lumínico: la emisión de lúmenes de una lámpara determinará su idoneidad en relación con la escala de la instalación y la cantidad de iluminación necesaria.

Procesamiento de color: Se relaciona con la cercanía con la que los colores percibidos del objeto observado coinciden con los colores percibidos del mismo objeto cuando éste se encuentra iluminado mediante fuentes de luz estándar

Vida útil de la lámpara: las lámparas tienen que ser reemplazadas varias veces durante el periodo de uso de la instalación de alumbrado. Se ve afectada por las condiciones de trabajo; fallo físico, suciedad, envejecimiento.

Eficiencia: salida de luz por unidad de energía, típicamente Lm/Watt. La eficiencia está relacionada con el costo, las fuentes luminosas eficientes reducen el consumo de energía.

Tipos de luminarias industriales de techo



- a, c = iluminación hacia abajo
- b, d = difusa
- e = ubicación del amortiguamiento de la luz
- f = bahía luminosa
- g = bahía inferior

Sistema Internacional de Codificación de Lámparas (SICL)

- A lo largo de los años, se han ido desarrollando varios sistemas de nomenclatura en los registros y normas nacionales e internacionales.
- En 1993, la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI) publicó un nuevo Sistema Internacional de Codificación de Lámparas (SICL) pensado para sustituir a los sistemas de codificación nacionales y regionales ya existentes.

Tipo (código)	Potencia normal (vatios)	Reproducción del color	Temperatura colorimétrica (K)	Vida útil (horas)
Lámparas fluorescentes de tamaño reducido (FS)	5–55	buena	2.700–5.000	5.000–10.000
Lámparas de mercurio de alta presión (QE)	80–750	correcta	3.300–3.800	20.000
Lámparas de sodio de alta presión (S-)	50–1.000	de incorrecta a buena	2.000–2.500	6.000–24.000
Lámparas incandescentes (I)	5–500	buena	2.700	1.000–3.000
Lámparas de inducción (XF)	23–85	buena	3.000–4.000	10.000–60.000
Lámparas de sodio de baja presión (LS)	26–180	color amarillo monocromático	1.800	16.000
Lámparas halógenas de tungsteno de baja tensión (HS)	12–100	buena	3.000	2.000–5.000
Lámparas de haluro metálico (M-)	35–2.000	de buena a excelente	3.000–5.000	6.000–20.000
Lámparas fluorescentes tubulares (FD)	4–100	de correcta a buena	2.700–6.500	10.000–15.000
Lámparas halógenas de tungsteno (HS)	100–2.000	buena	3.000	2.000–4.000

Tipos de lámparas

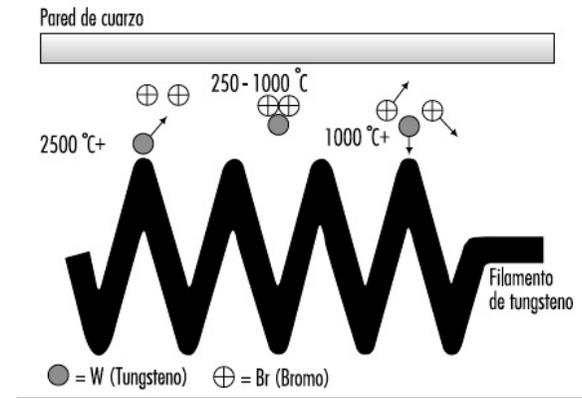
Lámparas incandescentes

Lámparas que tienen aceptación en la iluminación doméstica debido a su bajo coste y pequeño tamaño.



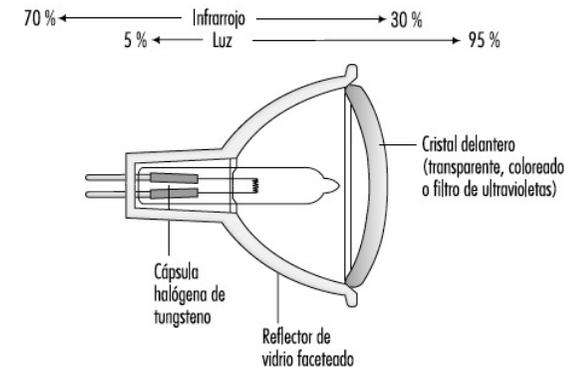
Lámparas halógenas de tungsteno

Duran más tiempo que sus equivalentes incandescentes. Han encontrado aceptación en situaciones cuyos principales requisitos son un tamaño reducido y un alto rendimiento



Lámparas halógenas de tungsteno de baja tensión

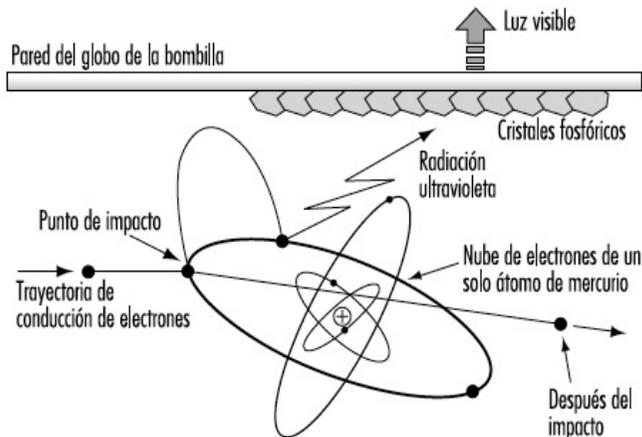
Fueron diseñadas originalmente para proyectores de diapositivas y películas



Tipos de lámparas

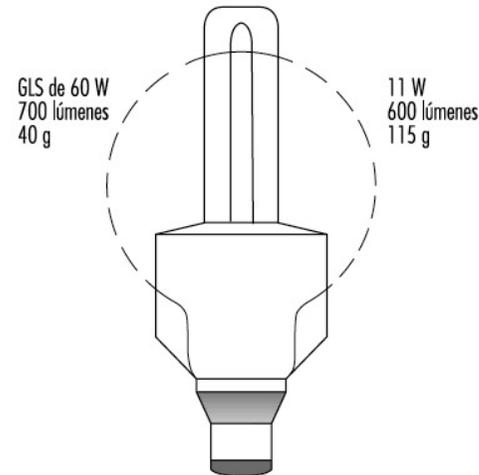
Lámparas fluorescentes tubulares

Son lámparas de mercurio de baja presión que están disponibles en versiones de aplicaciones como fábricas, oficinas y letreros publicitarios.



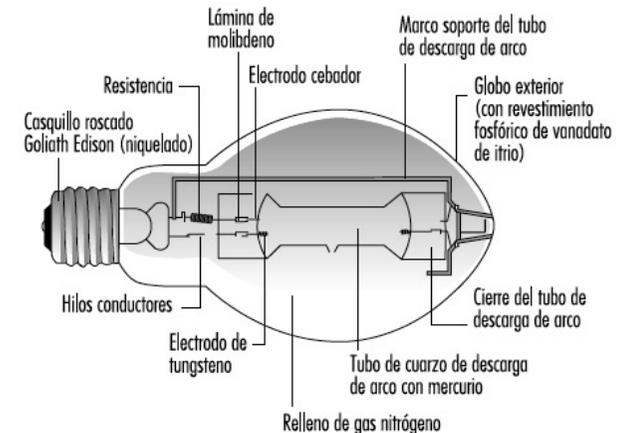
Lámparas fluorescentes de tamaño reducido

No sustituye de manera práctica a la lámpara incandescente debido a su forma alargada. Pueden hacerse tubos cortos y estrechos de aproximadamente el mismo tamaño que la lámpara incandescente, pero esto significa una alta carga eléctrica.



Lámparas de mercurio de alta presión

Tienen una larga vida útil, de alrededor de 20.000 horas, su rendimiento lumínico disminuye hasta aproximadamente el 55% del inicial al final de este período y, por consiguiente, su vida económica puede ser menor.



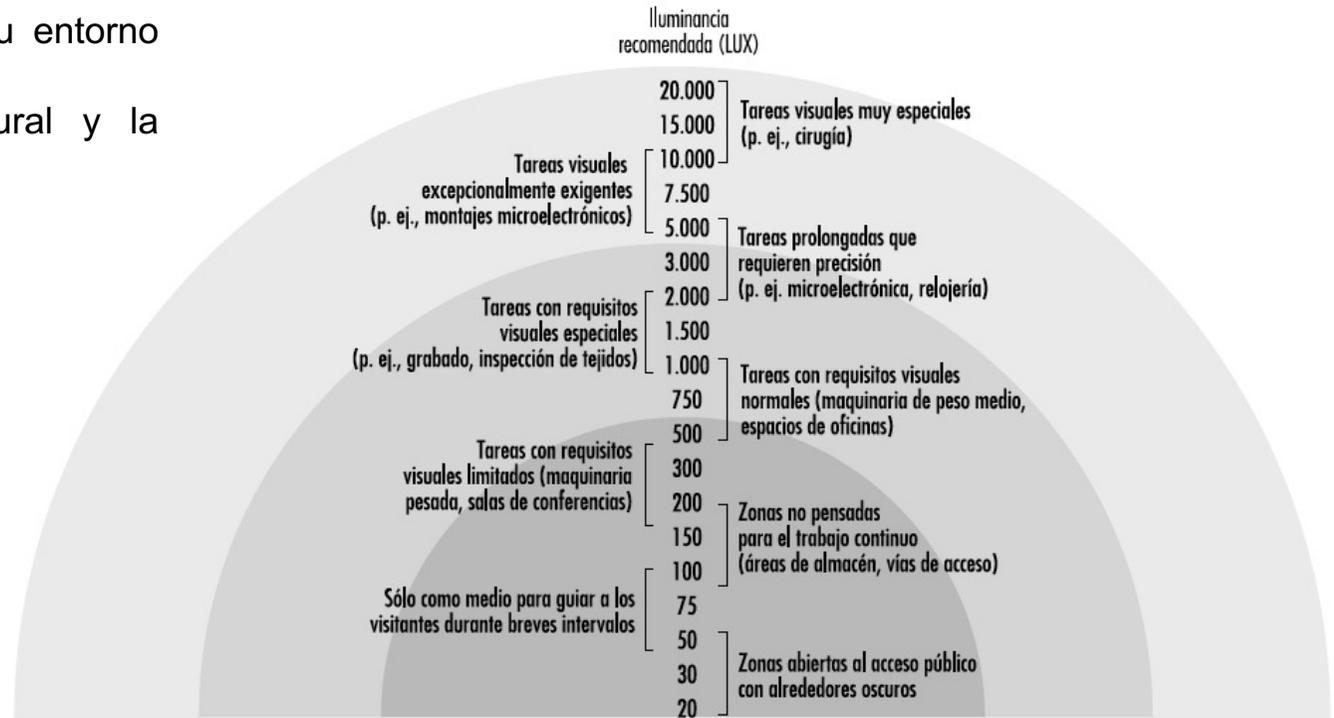
Niveles de iluminación en función de las tareas realizadas

Al elegir un cierto nivel de iluminación para un puesto de trabajo determinado, deberán estudiarse los siguientes puntos:

- la naturaleza del trabajo;
- la reflectancia del objeto y de su entorno inmediato;
- las diferencias con la luz natural y la necesidad de iluminación diurna,
- la edad del trabajador



El nivel de iluminación se mide con un **luxómetro** que convierte la energía luminosa en una señal eléctrica, que posteriormente se amplifica y permite una fácil lectura en una escala de lux calibrada.



Cada tipo de actividad descrita abarca tres valores LUX.

A Iluminación general en zonas de poco tráfico o de requisitos visuales sencillos

B Iluminación general para trabajo en interiores

C Iluminación adicional para tareas visuales exigentes

Factores que afectan la visibilidad del objeto

Contrastes de color por orden descendente

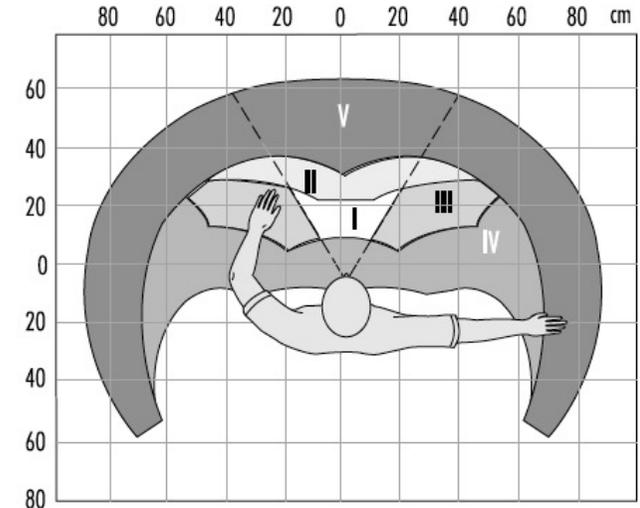
Color del objeto	Color del fondo
Negro	Amarillo
Verde	Blanco
Rojo	Blanco
Azul	Blanco
Blanco	Azul
Negro	Blanco
Amarillo	Negro
Blanco	Rojo
Blanco	Verde
Blanco	Negro

■ Contrastes de luminancias

Lo que el ojo realmente percibe son las diferencias de luminancia entre un objeto y su entorno o diferentes partes del mismo objeto.

■ Tamaño del objeto y ángulo de visión

El objeto puede ser adecuado o no, en función de la distancia y el ángulo de visión del observador. Determinan la disposición del puesto de trabajo, clasificando diferentes zonas de acuerdo con facilidad de visión



ZONAS VISUALES EN LA ORGANIZACION DEL ESPACIO DE TRABAJO

	Movimientos de trabajo	Esfuerzo visual
Gama I	Movimientos frecuentes, implican que se emplea mucho tiempo	Gran esfuerzo visual
Gama II	Movimientos menos frecuentes	Esfuerzo visual frecuente
Gama III	Implican poco tiempo	La información visual no es importante
Gama IV	Aún menos frecuentes, poco tiempo	No requiere un esfuerzo visual en particular
Gama V	Deben evitarse	Debe evitarse

Fuentes de luz y su distribución

Las luminarias para iluminación general se clasifican de acuerdo con el porcentaje de la salida total de luz emitida por arriba y por debajo de la horizontal

Iluminación indirecta:

- Alumbra el techo, el cual a su vez refleja hacia abajo.
- Techos deben ser la superficie más brillante en el cuarto, con reflexiones superiores a 80%
- El piso no debe reflejar más de 20 a 40% de luz con el fin de evitar el reflejo.
- Deben estar uniformemente distribuidas

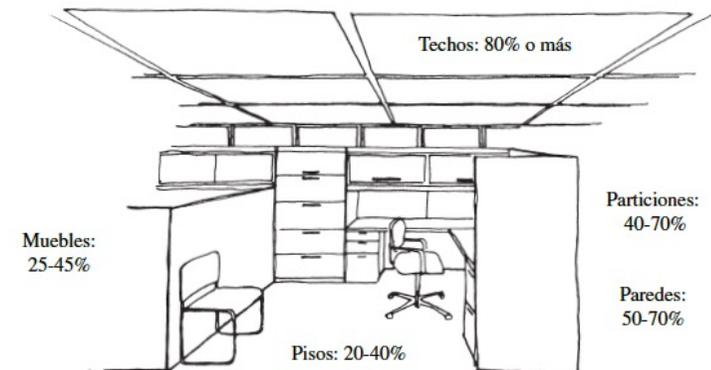
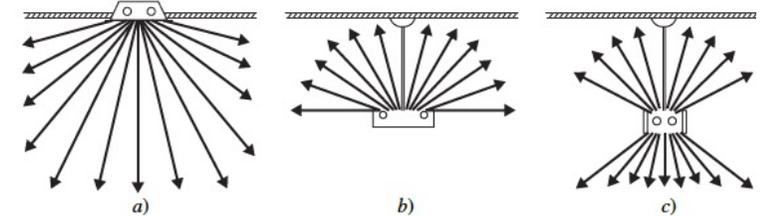
Iluminación directa:

- Resta importancia a la superficie del techo
- Ilumina con mayor intensidad superficies de trabajo y el piso.

Iluminación directa-indirecta:

- Combinación de iluminación directa e indirecta.

Reflectancias recomendadas para las superficies de los cuartos y el mobiliario de las oficinas



a = iluminación directa
b = iluminación indirecta
c = iluminación directa-indirecta

Fuentes de luz y su distribución

Factores que afectan el deslumbramiento

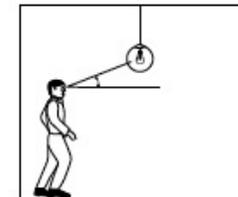
En general, se produce más deslumbramiento cuando las fuentes de luz están montadas a poca altura o en grandes habitaciones, porque las fuentes de luz así ubicadas pueden entrar fácilmente en el ángulo de visión que provoca deslumbramiento.

Para evitar el deslumbramiento se puede:

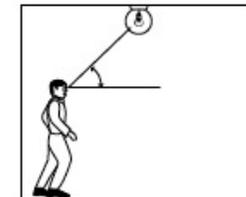
- Colocar rejillas bajo las fuente de iluminación
- Utilizar difusores
- Utilizar reflectores parabólicos



1. Altura de la instalación de alumbrado

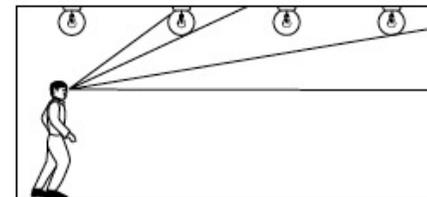


Más deslumbramiento

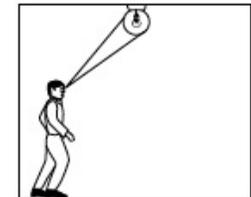


Menos deslumbramiento

2. Tamaño de la habitación



Más deslumbramiento



Menos deslumbramiento

Formas de obtener un buen alumbrado

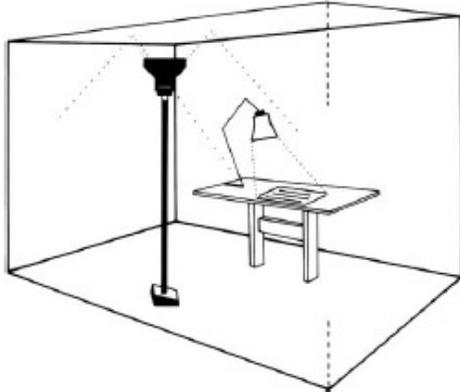
- Reducir el deslumbramiento mediante la instalación de un número adecuado de fuentes de luz para lograr la iluminación total requerida
- Lograr una aproximación satisfactoria de luz blanca para la mayor parte de los usos mediante el empleo de focos o lámparas incandescentes o bien unidades fluorescentes de luz blanca individuales
- Utilizar tubos de luz con mayor flujo luminoso.
- Eliminación de toda sombra; es decir , lograr el nivel correcto de iluminación en todos los puntos de la estación de trabajo

No debe ahorrarse energía a expensas del confort visual o rendimiento de los operadores

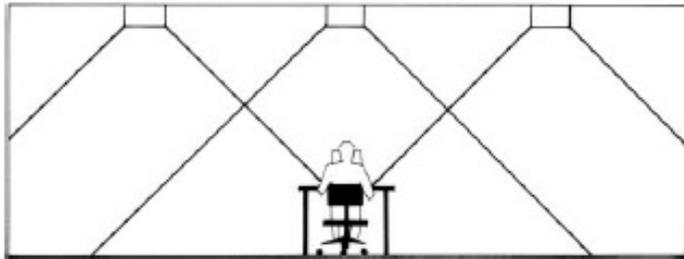


Sistemas de iluminación

Iluminación directa e indirecta

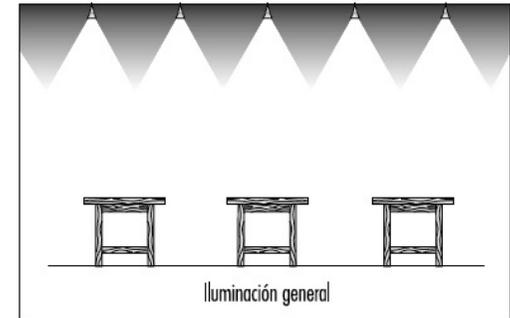


Coloque filas de luminarias paralelas a la línea de visión y al lado del operador. Los conos de luz superpuestos garantizan una distribución uniforme de las iluminancias de la superficie



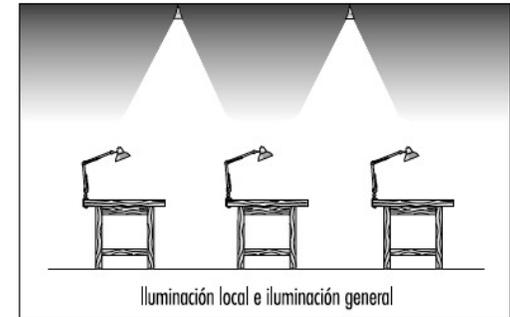
Iluminación general uniforme

Las fuentes de luz se distribuyen uniformemente sin tener en cuenta la ubicación de los puestos de trabajo



Iluminación general e iluminación localizada de apoyo

Sistema que intenta reforzar el esquema de la iluminación general situando lámparas junto a las superficies de trabajo

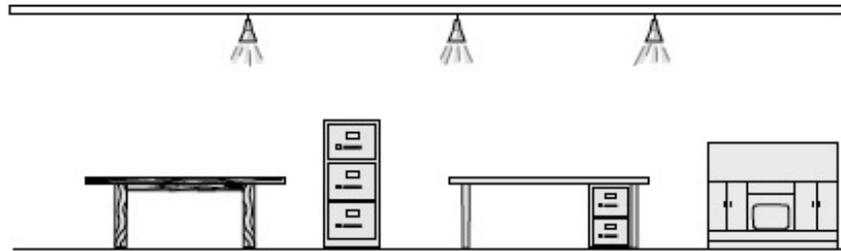


Iluminación general localizada

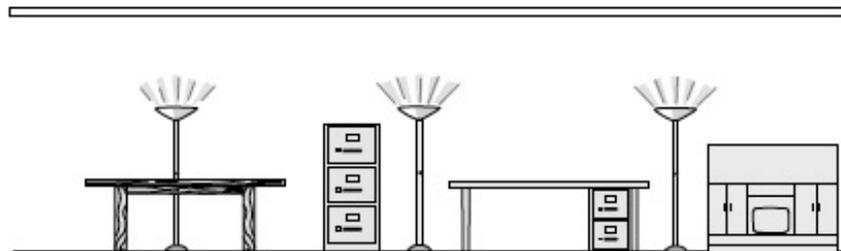
Indicado para aquellos espacios o áreas de trabajo que necesitan un alto nivel de iluminación y requiere conocer la ubicación de cada puesto



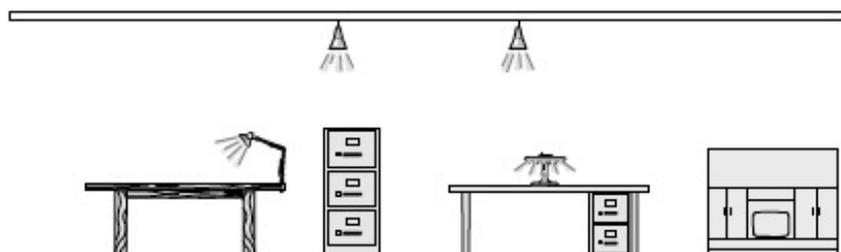
Sistemas de iluminación



A. General

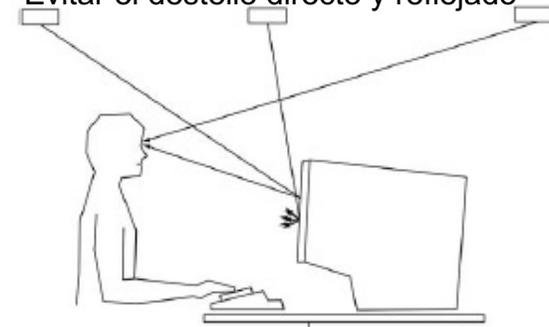


B. Localizada

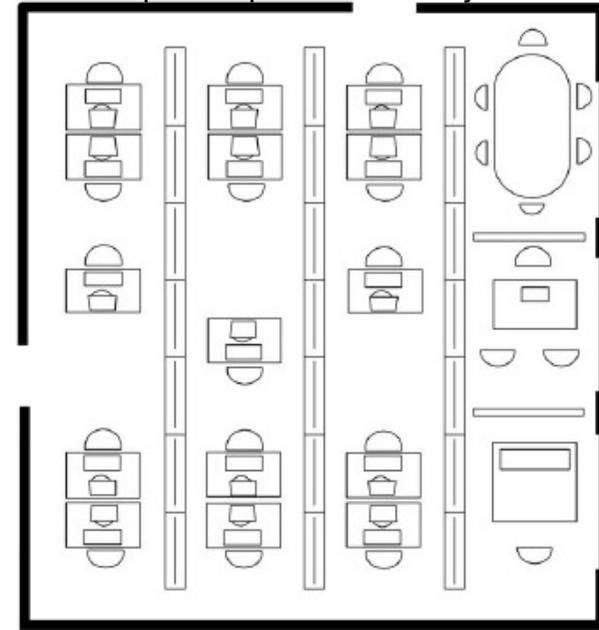


C. Local

Evitar el destello directo y reflejado



Diseño para espacios de trabajo abierto

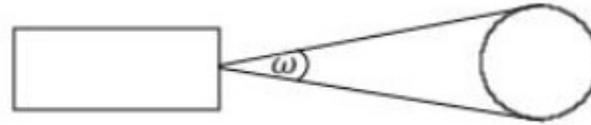


Indicadores para la medición de iluminación

Indicador	Definición	Fórmula	Unidad
Flujo luminoso	flujo de luz, independientemente de la dirección de una fuente.	$\Phi = I \times \Omega$	<i>Lumen (lm)</i>
Intensidad luminosa	la cantidad de flujo luminoso que emite una fuente por unidad de ángulo sólido.	$I = \frac{\Phi}{\Omega}$	<i>Candela (cd)</i>
Iluminancia	cantidad de flujo luminoso que incide sobre una superficie por unidad de área.	$E = \frac{\Phi}{A}$	<i>Lux (lm/m²)</i>
Luminancia	se define como la densidad angular, rectangular y superficial de flujo luminoso que incide, atraviesa o emerge de una superficie siguiendo una dirección determinada.	$L = \frac{I}{A}$	<i>cd/m²</i>
Reflectividad	es la fracción de radiación incidente reflejada por una superficie. Porcentaje de luz reflejada en la superficie	$\rho = \frac{\Phi_r}{\Phi}$	
Angulo sólido	ángulo espacial que abarca un objeto visto desde un punto dado.	$\Omega = 2\pi \left(1 - \cos \frac{\omega}{2}\right)$	<i>Estereorradian (sr)</i>

Ejemplo 1: Iluminación de un proyector

¿Cuál es la intensidad luminosa media de un proyector con un flujo utilizado de 120 lm cuando el cono de luz tiene un ángulo plano de 20 °?



Ejemplo 1: Iluminación de un proyector

El ángulo sólido se puede atribuir al ángulo plano de apertura con del cono de luz con la siguiente fórmula:

$$\Omega = 2\pi \left(1 - \cos \frac{\omega}{2}\right) sr$$

Intensidad luminosa I : el flujo luminoso que se emite por unidad de ángulo sólido en una dirección específica

$$I = \frac{\Phi}{\Omega}$$

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} = \frac{120 \text{ lm}}{2\pi \left(1 - \cos \frac{20}{2}\right) sr} \approx 1257 \text{ cd.}$$

La intensidad luminosa media del proyector es de aproximadamente 1257 cd.

Ejemplo 2: Iluminación en una oficina

Una oficina de ingeniería (longitud = 5 m, ancho = 4 m) está equipada con tres luminarias. Cada luminaria contiene dos tubos fluorescentes. La tarea principal realizada en esta oficina es trabajar en dibujos técnicos.

El flujo luminoso de cada tubo fluorescente asciende a 3200 lm, el envejecimiento y la suciedad de las lámparas deben tenerse en cuenta al disminuir un 25% la iluminancia nominal exigida

Compruebe si se cumplen los requisitos de la iluminancia nominal exigida según DIN 12464 - 2 en la Tabla 1. Tener en cuenta el envejecimiento y la suciedad de las lámparas.

Tarea	Lux
Trabajo de montaje	250
Trabajo de montaje preciso	1000
Trabajo de ensamble muy delicado	1500
Trabajo en máquina de fabricación de herramientas	250
Trabajo fino en la máquina de fabricación de herramientas	500
Trabajo muy preciso en la máquina de fabricación de herramientas.	1000
Dibujo técnico	1000
Contabilidad, trabajo de oficina	500

Ejemplo 2: Iluminación en una oficina

Oficina con tres luminarias, cada una con dos lámparas

$$E = \frac{\Phi}{A}$$

$$E = \frac{6 \times 3200 \text{ lm}}{5 \times 4} \times 0.75$$

$$E = 720 \text{ lux}$$

Según la norma DIN 12464 – 2, los niveles de lux requeridos para la tarea específica son de 1000 lux. Por consiguiente, la oficina **no cumple** con los requisitos

$$E < E_{\text{requerido}}$$

$$720 \text{ lux} < 1000 \text{ lux}$$

Ejemplo 3: Iluminación en una sala de máquinas

Una sala de maquinas con un área de 125 m² se utiliza para trabajos en una máquina de fabricación de herramientas. La sala está iluminada por 16 luminarias con 2 tubos fluorescentes cada una. Cada tubo fluorescente emite un flujo luminoso de $\Phi = 2100$ lm. El ángulo sólido de las luminarias es $\Omega = 1.1$ sr.

1. Determinar la máxima iluminancia posible E dentro de la sala de máquinas. Dar el resultado en lux.

2. ¿La iluminancia calculada cumple los requisitos?

3. Calcular la intensidad luminosa I por tubo fluorescente. Dar el resultado en candela.

4. ¿Qué cambios técnicos son necesarios? Por favor explique dos posibilidades de reconstrucción por medio de la prueba matemática. Por lo tanto, calcular el rediseño necesario del lugar de trabajo.

Tarea	Lux
Trabajo de montaje	250
Trabajo de montaje preciso	1000
Trabajo de ensamble muy delicado	1500
Trabajo en máquina de fabricación de herramientas	250
Trabajo fino en la máquina de fabricación de herramientas	500
Trabajo muy preciso en la máquina de fabricación de herramientas.	1000
Dibujo técnico	1000
Contabilidad, trabajo de oficina	500

Ejemplo 3: Iluminación en una sala de máquinas



$$A = 125 \text{ m}^2$$



$$n = 16 \times 2$$

$$\Phi = 2100 \text{ lm}$$

1. Determinar la máxima iluminancia posible E dentro de la sala de máquinas. Dar el resultado en lux.

$$E = \frac{\Phi_{total}}{A}$$

$$E = \frac{\Phi_{total}}{A} = \frac{16 \times 2 \times \Phi_{tubo \text{ fluorescete}}}{A}$$

$$E = \frac{16 \times 2 \times 2100 \text{ lm}}{125 \text{ m}^2}$$

$$E = 537.6 \text{ lux}$$

2. ¿La iluminancia calculada cumple los requisitos?

$$E > E_{requerido}$$

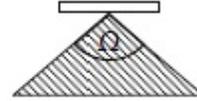
$$537.6 \text{ lux} > 250 \text{ lux}$$

Sì cumple con los requisitos

Ejemplo 3: Iluminación en una sala de máquinas



$$n = 16 \times 2$$
$$\Phi = 2100 \text{ lm}$$



$$\Omega = 1.1$$

3. Calcular la intensidad luminosa I por tubo fluorescente. Dar el resultado en candela.

$$I = \frac{\Phi}{\Omega}$$

$$I = \frac{2100 \text{ lm}}{1.1 \text{ sr}}$$

$$I = 1909.09 \text{ cd}$$

Ejemplo 3: Iluminación en una sala de máquinas

En el futuro, está previsto utilizar también la sala de máquinas para un trabajo muy preciso en las máquinas de fabricación de herramientas. Por lo tanto, una modificación de la iluminación en la sala de máquinas debe tener lugar.

4. ¿Qué cambios técnicos son necesarios? Por favor explique dos posibilidades de reconstrucción por medio de la prueba matemática. Por lo tanto, calcular el rediseño necesario del lugar de trabajo.

Opción 1: Usar luminarias adicionales

Recomendaciones de iluminancia

(según DIN para un trabajo muy preciso en la máquina de fabricación de herramientas)

$$E \geq E_{requerido}$$

$$n \geq \frac{E_{requerido} \times A}{\Phi_{total}} = \frac{E \times A}{2 \times \Phi_{tubo\ fluorescente}} = \frac{1000\ lux \times 125\ m^2}{2 \times 2100\ lm} = 29.76 \approx 30$$

Como ya hay 16 luminarias, se deben instalar al menos 14 luminarias adicionales en la sala de máquinas.

Ejemplo 3: Iluminación en una sala de máquinas

4. ¿Qué cambios técnicos son necesarios? Por favor explique dos posibilidades de reconstrucción por medio de la prueba matemática. Por lo tanto, calcular el rediseño necesario del lugar de trabajo.

Opción 2: Usar tubos fluorescentes con mayor flujo luminoso

$$\begin{aligned}\Phi_{tubo\ fluorescente} &\geq \frac{E_{requerido} \times A}{2 \times n} \\ &= \frac{1000\ lux \times 125\ m^2}{2 \times 16} = 3906.25\ lumen\end{aligned}$$

Se deben instalar nuevos tubos fluorescentes con un flujo luminoso mínimo de 3907 lm

Ejemplo 3: Iluminación en una sala de máquinas

Junto a la sala de máquinas, hay una oficina con dos estaciones de trabajo con computadoras. Cada estación de trabajo de computadora consta de un área de trabajo $A = 2 \text{ m}^2$ y está iluminada por una lámpara de escritorio. Cada lámpara de escritorio emite un flujo luminoso de $\Phi = 3100 \text{ lm}$. Las cantidades de ángulos sólidos $\Omega = 1.2 \text{ sr}$.

5. Calcule la luminancia que se genera en la parte superior del área de trabajo, considerando que es un área reflectante.

$$L = \frac{I_{\text{estacion de trabajo}}}{A_{\text{area de trabajo}}} = \frac{\Phi_{\text{lampara de escritorio}}}{\Omega \times A_{\text{area de trabajo}}} = \frac{3100 \text{ lum}}{1.2 \text{ sr} \times 2 \text{ m}^2} = 1291.67 \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}$$

Ejemplo 3: Iluminación en una sala de máquinas

6. Calcule el flujo luminoso reflejado de la lámpara de escritorio [Φ_r] considerando una reflectancia del área de trabajo de $\rho = 0.4$. Dar el resultado en lumen.

$$\rho = \frac{\Phi_r}{\Phi}$$

$$0.4 = \frac{\Phi_r}{\Phi}$$

$$\Phi_r = 0.4\Phi$$

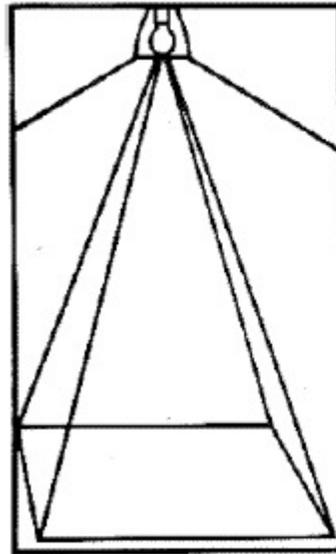
$$\Phi_r = 0.4 \times 3100 \text{ lm}$$

$$\Phi_r = 1240 \text{ lm}$$

Ejemplo 4: Iluminación en una mesa de trabajo en el taller de relojero

Se debe diseñar una mesa de trabajo en el taller de un relojero. La luminaria debe estar dispuesta perpendicularmente sobre el lugar de trabajo.

El espacio de trabajo es de 80 cm x 60 cm, la reflectancia promedio es del 40%. La iluminancia nominal exigida es de 1500 lx.



Ejemplo 4: Iluminación en una mesa de trabajo en el taller de relojero

1. Determine el flujo luminoso requerido para irradiar el lugar de trabajo.

$$E = 1500 \text{ lux}$$

$$\Phi = E * A$$

$$= 1500 \text{ lux} \times 0.8 \text{ m} \times 0.6 \text{ m}$$

$$\Phi = 720 \text{ lm}$$

Bibliografía

- Freivalds, A. & Niebel, B. *Ingeniería Industrial – métodos estándares y diseño del trabajo*. McGraw-Hill
- García Criollo, R. *Estudio del trabajo*. McGraw-Hill
- Meyers, F. & Stephens, M.. *Diseño de instalaciones de manufactura y manejo de materiales*. Pearson
- Render, B. & Heizer, J. *Principios de administración de operaciones*. Pearson
- Kanawaty, G. *Introducción al estudio de trabajo*. OIT
- Bedny, G. & Bedny, I. (2019) *Work Activity Studies Within the Framework of Ergonomics, Psychology, and Economics*. Taylor & Francis Group.
- Bridger, R. (2019). *Introduction to Human Factors and Ergonomics*. Taylor & Francis Group.
- Lehto, M. & Buck, J. (2008). *Introduction to Human Factors and Ergonomics of Engineers*. Taylor & Francis Group.
- Stack, T. et al. (2016). *Occupational Ergonomics – A Practical Approach*. Wiley
- Kroemer, K. (2017). *Fitting the Human – Introduction to Ergonomics / Human Factors Engineering*. Taylor & Francis Group.
- Marras, W. & Karwowski, W. (2006) *Fundamentals And Assessment Tools For Occupational Ergonomics*. Taylor & Francis Group.
- Konz, S. & Johnson, S. (2016) *Work Design and Occupational Ergonomics*. Taylor & Francis Group.
- Abraham, C. (2008). *Manual de tiempos y movimientos: Ingeniería de métodos*. Limusa
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). (2006). *Guía Técnica para la integración de la prevención de riesgos laborales en el sistema general de gestión de la empresa*. Ministerio de Empleo y Seguridad Social. Gobierno de España
- (1998). *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo*. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales
- Palacios, L. (2009). *Ingeniería de Métodos, Movimientos y Tiempos*. Ecoe Ediciones
- Krick (1994). *Ingeniería de Métodos*. Limusa
- Castellanos, J., et al. (2008). *Organización del Trabajo: Ingeniería de Métodos – Tomo I*. Editorial Felix Varela
- Castellanos, J., et al. (2008). *Organización del Trabajo: Estudio de Tiempos – Tomo II*. Editorial Felix Varela
- Mondelo, P. et al. (1999). *Ergonomía 3: Diseños de Puestos de Trabajo*. Mutua Universal
- Palacios, L. (2016). *Ingeniería de Métodos Movimientos y Tiempos*. Ecoe Ediciones
- Peralta, J. et al (2014) *Estudio del Trabajo*. Grupo Editorial Patria
- Caso Neira, A. *Técnicas de Medición del Trabajo*
- <http://www.css.org.pa/>
- <http://www.osha.gov/>



Ricardo Caballero, M.Sc.

Docente Tiempo Completo
Facultad de Ingeniería Industrial
Centro Regional de Chiriquí
Universidad Tecnológica de Panamá

E-mail: ricardo.caballero@utp.ac.pa

<https://www.academia.utp.ac.pa/ricardo-caballero>