

# CURSO DE DISEÑO DE ILUMINACIÓN CON DIALUX EVO

## 1. FUNDAMENTOS DE ILUMINACIÓN

### 1.1 Naturaleza Física de la Luz

#### 1.1.1 Radiación electromagnética

La luz es una forma de energía que se propaga a través del espacio en forma de ondas electromagnéticas. Estas ondas no requieren un medio material para transmitirse, lo que significa que pueden viajar en el vacío a una velocidad aproximada de:

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

La radiación electromagnética está compuesta por campos eléctricos y magnéticos oscilantes perpendiculares entre sí y a la dirección de propagación.

Sin embargo, en iluminación no trabajamos con todo el espectro electromagnético, sino únicamente con la porción visible.

#### Aplicación práctica en diseño de iluminación

Comprender que la luz es radiación electromagnética permite entender fenómenos como:

- Pérdida de energía en transmisión
- Conversión de energía eléctrica en energía luminosa
- Emisión espectral diferente según tecnología de lámpara

Por ejemplo:

- Una lámpara de vapor de sodio emite energía concentrada en ciertas longitudes de onda (color amarillento).
- Un LED blanco genera luz mediante conversión fosfórica, modificando la distribución espectral.

Esto tiene impacto directo en:

- Índice de reproducción cromática (CRI)
- Apariencia de materiales
- Fatiga visual en ambientes industriales

#### Caso real aplicado

En una nave industrial donde se reemplazaron luminarias de vapor de sodio por LED:

Problema inicial:

- Iluminancia adecuada en lux.
- Sin embargo, bajo CRI ( $\approx 25$ ).
- Los operadores confundían cables por mala percepción cromática.

Solución:

- Cambio a LED CRI > 80.
- Mejora en identificación de colores.
- Reducción de errores operativos.

Conclusión:

La física espectral impacta directamente en seguridad y productividad.

### 1.1.2 Espectro visible

El espectro electromagnético incluye:

- Rayos gamma
- Rayos X
- Ultravioleta
- Luz visible
- Infrarrojo
- Microondas
- Radiofrecuencia

El ojo humano solo percibe un rango aproximado entre:

380 nm a 780 nm

Este rango corresponde al espectro visible.

### Importancia en iluminación

La percepción del color depende de la longitud de onda dominante:

- 380–450 nm → violeta/azul
- 450–495 nm → azul-verde
- 495–570 nm → verde
- 570–590 nm → amarillo
- 590–620 nm → naranja
- 620–780 nm → rojo

En diseño:

- Ambientes hospitalarios suelen usar tonos neutros (4000K).
- Oficinas modernas → 4000K a 5000K.
- Retail cálido → 3000K.

### 1.1.3 Longitud de onda

La longitud de onda ( $\lambda$ ) es la distancia entre dos crestas consecutivas de la onda electromagnética.

Relación fundamental:

$$c = \lambda \cdot f$$

Donde:

- $c$  = velocidad de la luz
- $\lambda$  = longitud de onda
- $f$  = frecuencia

### Aplicación real

LED de 3000K vs LED 6000K:

- 3000K → mayor proporción de longitudes de onda largas (rojizas)
- 6000K → mayor proporción azul

Impacto:

- Luz fría aumenta estado de alerta.
- Exceso de azul en turnos nocturnos altera ritmo circadiano.

En proyectos industriales con turnos rotativos:  
Debe evaluarse impacto biológico.

#### 1.1.4 Energía y frecuencia

La energía de un fotón está dada por:

$$E = h \cdot f$$

Donde:

- $h$  = constante de Planck
- $f$  = frecuencia

Mayor frecuencia → mayor energía.

Por eso:

- Ultravioleta tiene más energía que visible.
- Visible más que infrarrojo.

En iluminación arquitectónica esto importa porque:

- No todo lo que ilumina es seguro.
- Algunos espectros pueden generar degradación de materiales.

#### Caso real

En museos:

Se limitan componentes UV para evitar deterioro de pinturas.

En industria alimentaria:

Se evita exceso de azul intenso en ciertas áreas por efecto en productos sensibles.

#### 1.1.5 Comportamiento óptico: reflexión, refracción y absorción

Cuando la luz incide sobre una superficie puede:

1. Reflejarse
2. Refractarse
3. Ser absorbida

### **Reflexión**

Puede ser:

- Especular (como espejo)
- Difusa (pared pintada)

### **Refracción**

Cambio de dirección al pasar de un medio a otro.

Ejemplo:

- Lentes ópticas de luminarias.
- Difusores prismáticos.

Impacto:

Control de deslumbramiento.

### **Absorción**

Superficies oscuras absorben más energía luminosa.

Ejemplo real:

En almacenes con racks negros:

Se requieren más luminarias que en racks blancos.

### **Cierre técnico del punto 1.1**

La comprensión de la naturaleza física de la luz no es un contenido teórico aislado. Es la base para:

- Selección correcta de luminarias
- Interpretación de curvas IES
- Modelado preciso en DIALux evo
- Diseño eficiente energéticamente
- Diseño con enfoque en confort visual y seguridad

#### **1.1.6 Influencia biológica de la luz**

Durante décadas el diseño de iluminación se centró exclusivamente en parámetros visuales:

- Iluminancia (lux)
- Uniformidad
- Deslumbramiento

- Reproducción cromática

Sin embargo, investigaciones recientes demostraron que la luz no solo permite ver, sino que también regula funciones biológicas humanas.

La retina no solo posee conos y bastones. También contiene células ganglionares intrínsecamente fotosensibles (ipRGCs), sensibles principalmente a longitudes de onda azul ( $\approx 480$  nm).

Estas células regulan:

- Ritmo circadiano
- Producción de melatonina
- Nivel de alerta
- Estado de ánimo
- Calidad del sueño

Esto cambia completamente el paradigma del diseño.

### **1.1.7 Ritmo circadiano y diseño de iluminación**

El ritmo circadiano es el ciclo biológico de aproximadamente 24 horas que regula:

- Sueño
- Vigilia
- Temperatura corporal
- Secreción hormonal

La exposición a luz azul intensa durante el día:

- Suprime melatonina
- Incrementa alerta
- Mejora rendimiento cognitivo

La exposición nocturna a luz azul:

- Interrumpe sueño
- Aumenta fatiga acumulada
- Puede afectar salud a largo plazo

### **Caso aplicado – Planta industrial con turnos rotativos**

Situación:

Trabajadores en turno nocturno bajo iluminación LED 6000K.

Resultado:

- Mejora temporal de alerta.
- Pero al salir del turno, dificultad para conciliar sueño.
- Fatiga crónica.

Solución propuesta:

- Sistema de iluminación dinámica:
  - 5000K inicio de turno
  - 4000K mitad de turno
  - 3000K últimas horas

Resultado:

- Mejor adaptación biológica.
- Menor queja por trastornos de sueño.

Este tipo de criterio rara vez se incluye en proyectos convencionales.

### **1.1.8 Luz melanópica y EDI**

El nuevo enfoque introduce el concepto de:

Equivalent Daylight Illuminance (EDI)

No toda luz de 500 lux produce el mismo efecto biológico.

Una iluminación de:

- 500 lux a 6500K → mayor estímulo melanópico
- 500 lux a 3000K → menor estímulo

En oficinas modernas de alto rendimiento, se busca:

- 250–300 lux melanópicos efectivos durante jornada
- Reducción progresiva al final del día

Esto no reemplaza la normativa visual, sino que la complementa.

### **1.1.9 Interacción luz–material en diseño real**

La naturaleza física de la luz también impacta en:

- Apariencia de superficies metálicas
- Brillo especular en maquinaria
- Seguridad en áreas húmedas

### **Caso industrial real**

En una planta de procesamiento:

Piso pulido con alto coeficiente especular.  
Luminarias tipo high-bay con óptica estrecha.

Problema:

- Reflejos directos
- Deslumbramiento severo
- Falsas percepciones de charcos

Solución:

- Óptica más difusa
- Cambio de ángulo de instalación
- Ajuste de reflectancia modelada en software

Aquí vemos cómo reflexión y refracción no son conceptos teóricos, sino determinantes de seguridad.

### **1.1.10 Implicancias energéticas**

Comprender la física de la luz permite:

- Seleccionar luminarias con mejor eficacia (lm/W).
- Reducir pérdidas por absorción.
- Optimizar altura de montaje.

Ejemplo:

Dos luminarias:

- 150 lm/W
- 110 lm/W

A lo largo de una nave industrial con 100 luminarias:

La diferencia energética anual puede ser significativa.

Pero cuidado:

Más eficacia no siempre implica mejor calidad visual.

## **1.2 FOTOMETRÍA Y RADIOMETRÍA**

### **1.2.1 Radiometría vs Fotometría**

Antes de hablar de lux y lúmenes, debemos diferenciar dos conceptos fundamentales:

Radiometría

Mide la energía radiante total emitida por una fuente, sin considerar la sensibilidad del ojo humano.

Unidad base:

- Watt (W)

Se usa en:

- Estudios térmicos
- Análisis UV
- Investigación científica

## Fotometría

Mide la luz considerando la respuesta del ojo humano promedio.

Unidad base:

- Lumen (lm)

Se usa en:

- Diseño de iluminación
- Normativas técnicas
- Proyectos arquitectónicos e industriales

### Diferencia clave

Una fuente puede emitir mucha energía radiante (radiometría), pero si esa energía está fuera del espectro visible, no será percibida como luz útil.

Por ejemplo:

- Una lámpara infrarroja emite energía.
- Pero no aporta iluminancia visible significativa.

Por eso el diseño profesional trabaja con magnitudes fotométricas.

### 1.2.2 Flujo luminoso ( $\Phi$ )

El flujo luminoso representa la cantidad total de luz visible emitida por una fuente en todas direcciones.

Unidad:

Lumen (lm)

Ejemplo:

- Lámpara LED doméstica → 800 lm
- Proyector industrial → 20,000 lm
- High-bay industrial → 30,000–40,000 lm

### Aplicación real

Error común:

Seleccionar luminarias solo por potencia eléctrica (W).

Ejemplo:

Dos luminarias de 100 W:

- Luminaria A → 15,000 lm
- Luminaria B → 10,000 lm

Ambas consumen lo mismo, pero su rendimiento luminoso es distinto.

Aquí entra el concepto de eficacia.

### 1.2.3 Intensidad luminosa (I)

La intensidad luminosa indica cuánta luz se emite en una dirección específica.

Unidad:

Candela (cd)

Relación:

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

Donde:

- $\Phi$  = flujo luminoso
- $\Omega$  = ángulo sólido (en estereorradianes)

### Aplicación práctica

Una luminaria puede tener 20,000 lm, pero si los distribuye en un ángulo muy amplio, la intensidad puntual será baja.

En cambio, una óptica concentrada produce:

- Mayor intensidad en eje
- Mayor iluminancia puntual
- Mayor riesgo de deslumbramiento

### Caso industrial real

En una nave de 12 m de altura:

Se instalaron luminarias con ángulo 120°.

Problema:

- Lux insuficientes en plano de trabajo.

Solución:

- Cambio a óptica 60°.
- Aumento de intensidad en eje.
- Mejor penetración vertical.

Mismo flujo, distinta distribución.

### 1.2.4 Iluminancia (E)

La iluminancia es la cantidad de flujo luminoso que incide sobre una superficie.

Unidad:

$$\text{Lux}(lx) = \frac{\text{Lumen}}{m^2}$$

Fórmula básica:

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

Donde:

- $\Phi$  = flujo incidente
- A = área

**Este es el parámetro más usado en normativa.**

Ejemplos normativos típicos:

- Oficina → 500 lux
- Pasillo → 100–200 lux
- Industria fina → 750–1000 lux
- Almacén → 150–300 lux

### 1.2.5 Luminancia (L)

La luminancia mide la cantidad de luz reflejada hacia el ojo desde una superficie.

Unidad:

$$cd/m^2$$

Es el parámetro realmente relacionado con:

- Deslumbramiento
- Confort visual
- Fatiga ocular

#### **Diferencia clave**

Iluminancia = lo que llega a la superficie

Luminancia = lo que el ojo percibe

#### **Caso real**

En una oficina:

Iluminancia correcta → 500 lux  
Pero pantallas con alto brillo + luminarias sin control UGR

Resultado:

- Fatiga visual
- Dolor de cabeza

Aquí el problema no es lux.  
Es luminancia y deslumbramiento.

### 1.2.6 Eficacia luminosa

Indica cuántos lúmenes produce una luminaria por cada watt consumido.

*lm/W*

Ejemplos:

- Incandescente → 10–15 lm/W
- Fluorescente → 60–90 lm/W
- LED moderno → 120–200 lm/W

### Aplicación energética

En una nave con 100 luminarias:

Si cada una ahorra 30 W respecto a la alternativa,  
el ahorro anual puede ser significativo.

Pero cuidado:

Mayor eficacia no significa automáticamente mejor diseño.  
Debe evaluarse distribución y confort.

### 1.2.7 Curvas fotométricas

Las curvas fotométricas describen cómo se distribuye la luz en el espacio.

Se representan en archivos:

- IES
- LDT

### Tipos de distribución

- Simétrica
- Asimétrica
- Batwing
- Narrow beam
- Wide beam

## Caso aplicado

En iluminación vial:

No se usan ópticas simétricas.

Se usan ópticas asimétricas para:

- Maximizar iluminación sobre vía.
- Reducir contaminación lumínica.
- Mejorar eficiencia energética.

### 1.2.8 Uniformidad

Uniformidad:

$$U_0 = \frac{E_{min}}{E_{media}}$$

Es crucial en:

- Campos deportivos
- Oficinas
- Industria de precisión

No basta con alcanzar lux promedio.  
Se debe garantizar homogeneidad.