



CONTENIDOS

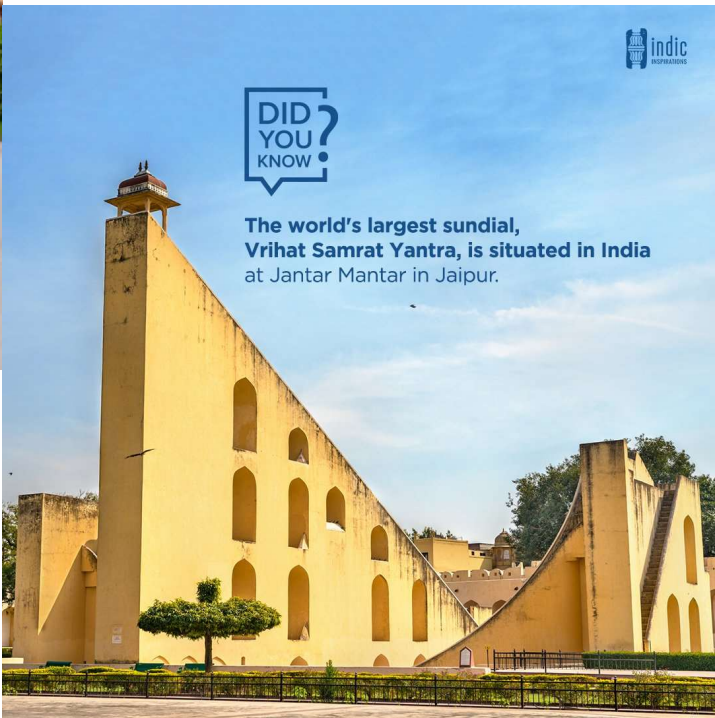
1. Luz Natural
2. Unidades Básicas de Luminotecnia
3. Ambientes luminosos y uniformidad
4. Algunas materialidades
5. Sistemas ópticos para el transporte de luz

Relojes Solares

Observatorios Astronómico Jantar, Jaipur India



Reloj Solar Samrat Jantar



Radiación e Iluminación natural del Panteón: Cuatro estaciones

Al mediodía en un equinoccio el sol brilla a través del óculo del Panteón en el ángulo perfecto para pasar por una parrilla sobre la puerta cerrada e iluminar el vestíbulo.

Winter Solstice 24°

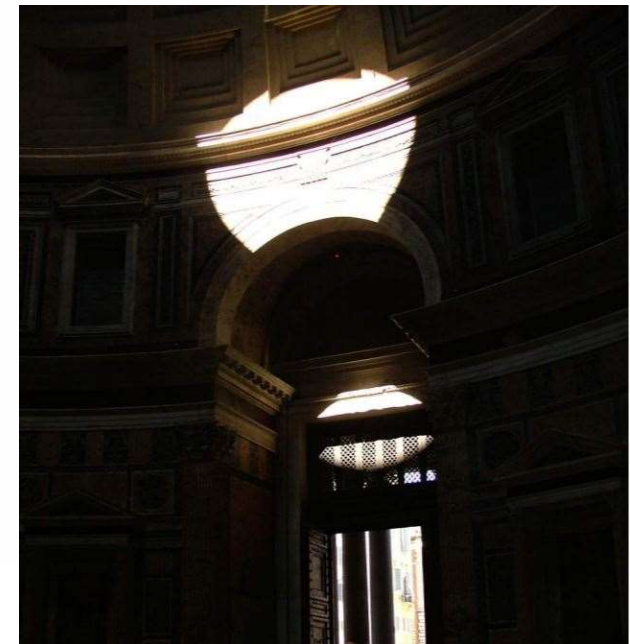
Equinox 48°

April 21 60°

Summer Solstice 72°



21 de abril, en el cumpleaños de roma, a las 12:00 hora solar, un haz de luz sólida ilumina la entrada.



Equinoccio de
otoño

1. Luz Natural



“El filósofo meditando”, Rembrandt.

1. Luz Natural



Imágenes: archivo fotográfico J. Roldán

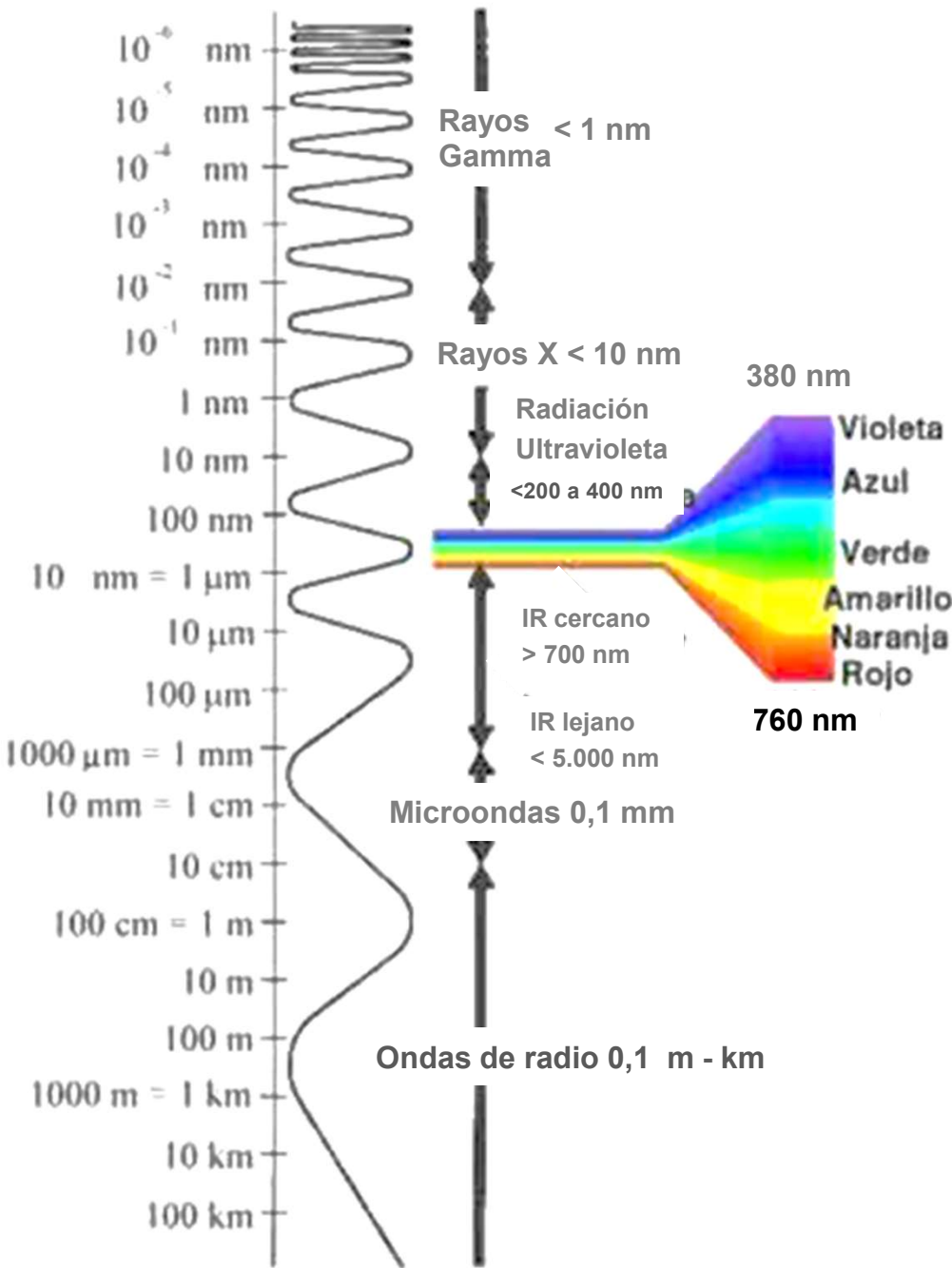
1. Luz Natural

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

Contiene toda las frecuencias de ondas de radiaciones del Universo.

Las ondas electromagnéticas se distinguen por sus longitudes:

Ambiente luminoso: la naturaleza de la luz.



Magnitudes de ondas visibles		
Longitud de onda (nm)	Color	Tipo
380 a 450	violeta	Onda corta, no hay sensación visual sólo radiación calórica
450 a 500	azules	
500 a 550	verdes	
L U Z D I U R N A		
570 a 590	amarilla	Onda larga
590 a 610	Naranja	
610 a 760	Rojo	

1. Luz Natural

La luz natural es una fuente luminosa muy eficiente que cubre todo el espectro visible, que proporciona un rendimiento de colores perfecto, con variaciones de intensidad, color y distribución de luminancias, con una dirección variable de la mayor parte de la luz incidente.

La disponibilidad y características de la luz natural dependen de la latitud, meteorología, época del año y del momento del día. Es sabido que la cantidad de luz natural recibida en la tierra varía con la situación, la proximidad a las costas o tierra adentro.

El clima y la calidad del aire también afectan a la intensidad y duración de la luz natural. De ahí que según los climas, la luz natural pueda ser predecible o muy impredecible



La luz natural consta de tres componentes:

- El **haz directo** procedente del sol
- La luz natural **difundida** en la atmósfera (incluyendo nubes), que constituye la componente difusa del cielo
- La luz procedente de **reflexiones**, en el suelo del propio interior y en objetos del entorno exterior.



1. Luz Natural

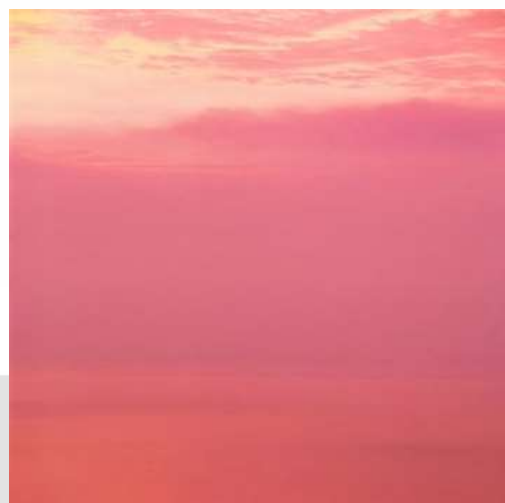
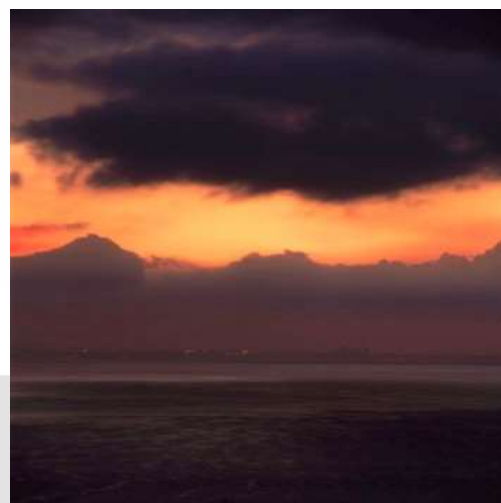
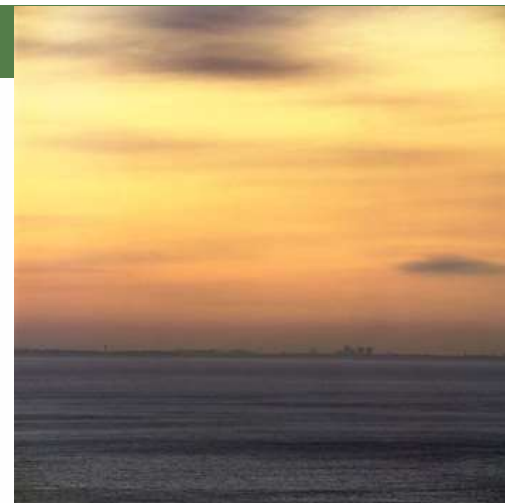
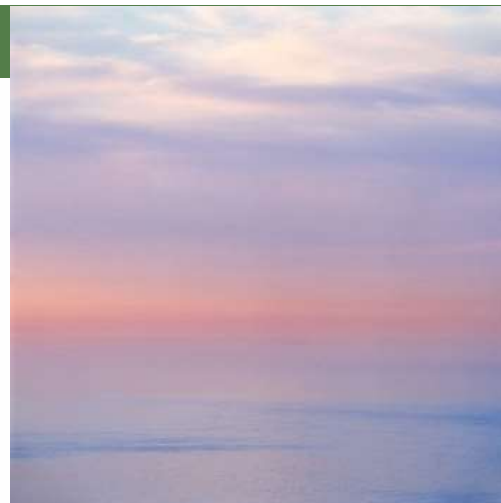
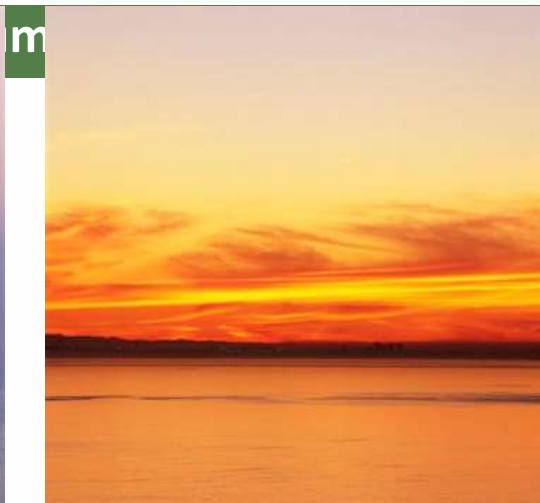
La **eficacia luminosa** de la luz solar depende de la altitud solar, su valor es cero en el horizonte, y la uniformidad incrementa a partir de los 20° , por encima de este ángulo aumenta hasta 105 y 120 lm/w (variando localmente).



Satellite data provided by **The Living Earth® Inc./Earth Imagin**
2010 Mar 25 18:47 UTC

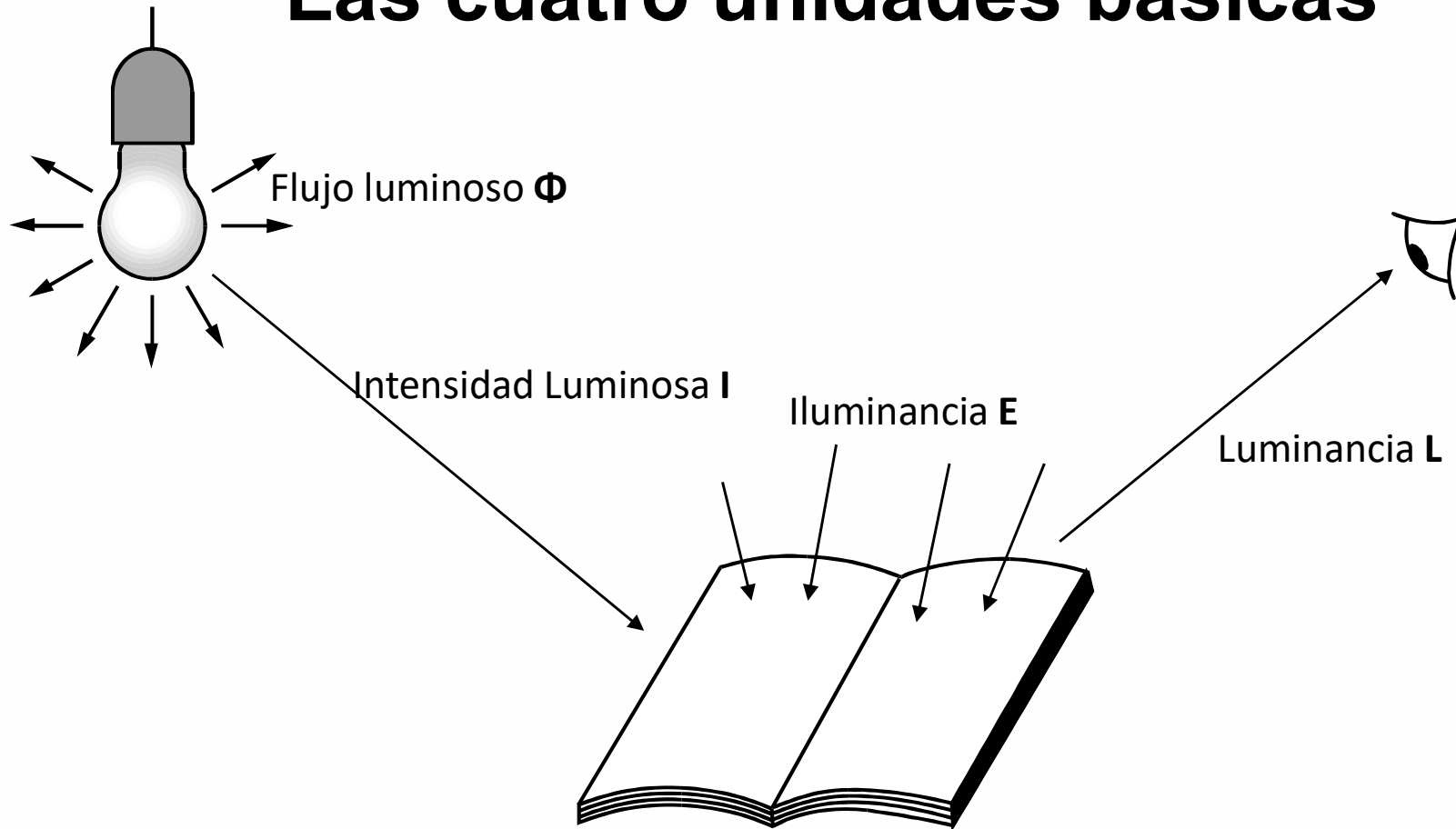
Recurso luminoso	Eficacia Luminosa (Lumenes/Watt); (Lm/W)
Sol (baja altitud)	90
Sol (alta altitud)	117
Sol (media altitud)	100
Cielo difuso (claro)	150
Cielo difuso (medio)	125
Incandescente (150 W)	16 - 40
Fluorescente (40 W)	50 - 80
Sodio de alta presión	40 - 140
Fluorescente compacto (26 W)	70
LED (9W)	88

INTERNATIONAL
COMMISSION ON ILLUMINATION



Unidades Básicas de Luminotecnia

Las cuatro unidades básicas

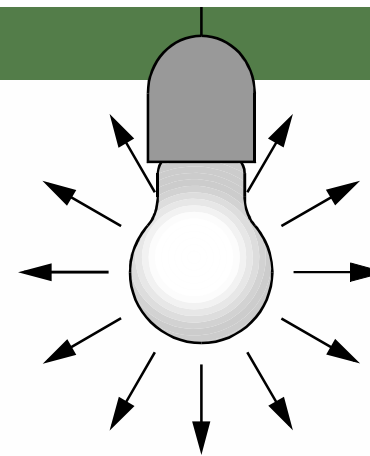


2. Unidades Básicas de Luminotecnia

Unidades Básicas de Luminotecnia

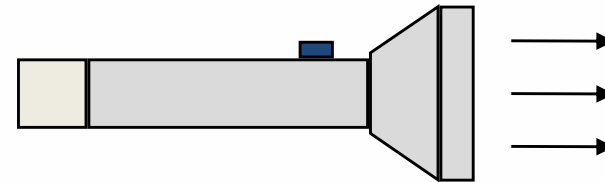
Flujo luminoso Φ = Lumen (Lm)

La cantidad total de luz radiada por una fuente de luz natural o artificial.

 Φ

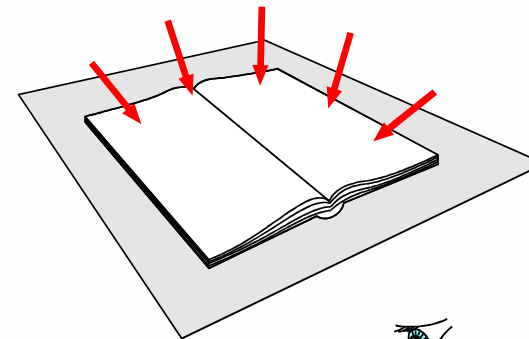
Intensidad Luminosa I = Candela (cd)

Cantidad de luz radiada en una dirección determinada (Caso de luz artificial: Reflector)

 I

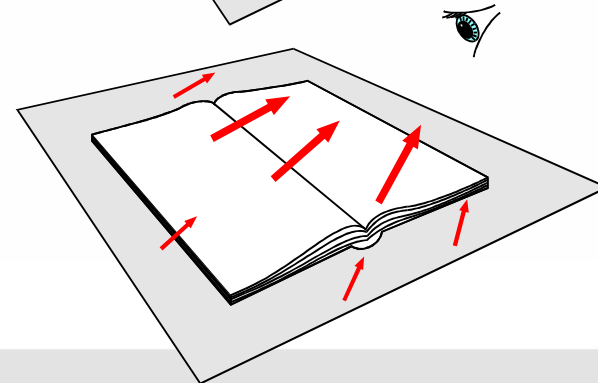
Iluminancia E = Lux (Lumen/m²)

Cantidad de luz que llega a una superficie por unidad de superficie.

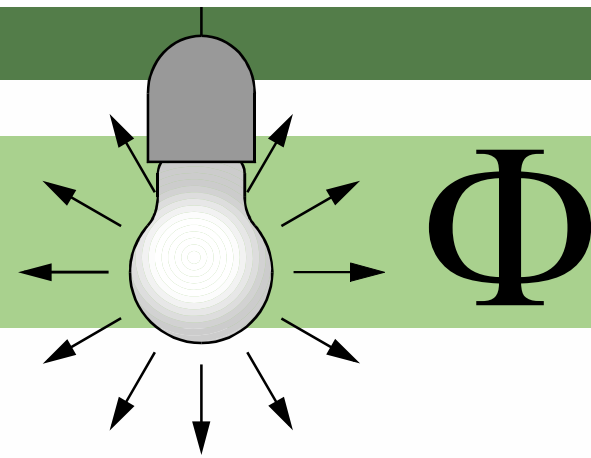
 E

Luminancia L = Candela/m²

Cantidad de luz radiada por unidad de superficie aparente en una dirección dada.

 L

Flujo luminoso Φ = Lumen (Lm)

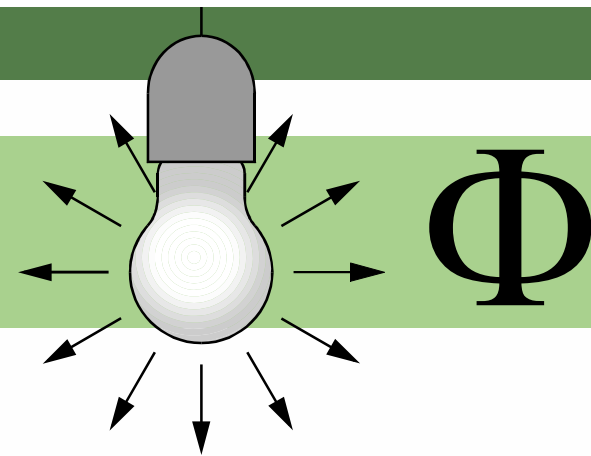


<http://luxreview.com/article/2016/05/two-minute-explainer-circadian-rhythms>



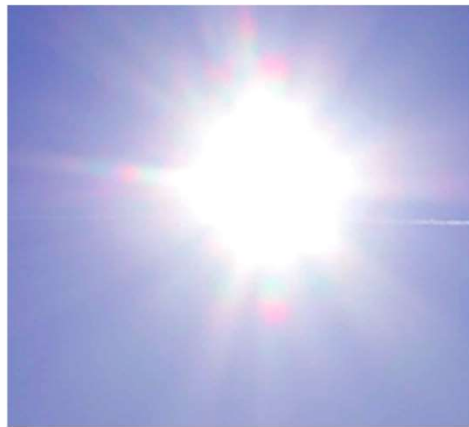
En el transcurso del día, podemos percibir las variaciones de la intensidad del flujo luminoso de acuerdo a la composición atmosférica del cielo y la altura solar.

Flujo luminoso Φ = Lumen (Lm)



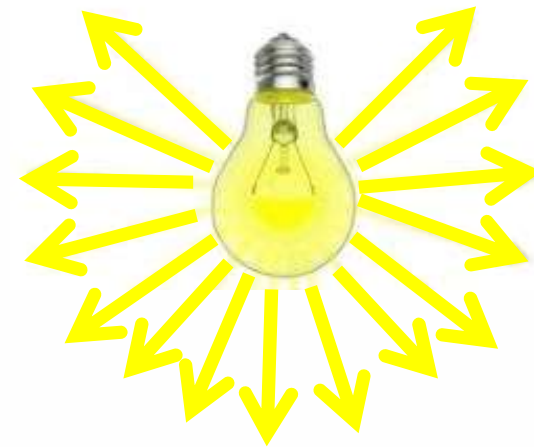
El flujo luminoso describe toda la potencia lumínica dada por una fuente luminosa, nos da idea de la cantidad de luz total que emite una fuente luminosa.

Se mide en *lumen* (lm). Flujo radiante de



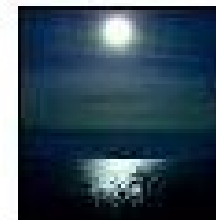
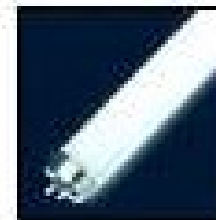
1 Watt de longitud de onda 555nm
685 lúmenes

Φ

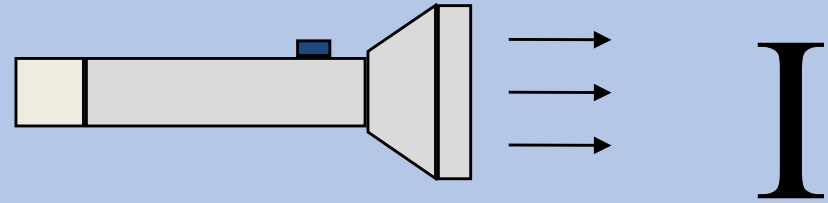


100 Watts
1300-1530 lúmenes

Imagen: De Herde



Intensidad Luminosa I = Candela (cd)



La intensidad luminosa (I) es una intensidad radiante, y se define como el flujo luminoso (Φ) en una determinada dirección, radiado por unidad de ángulo sólido, y nos da una idea de como la energía luminosa llega a cada punto del espacio.

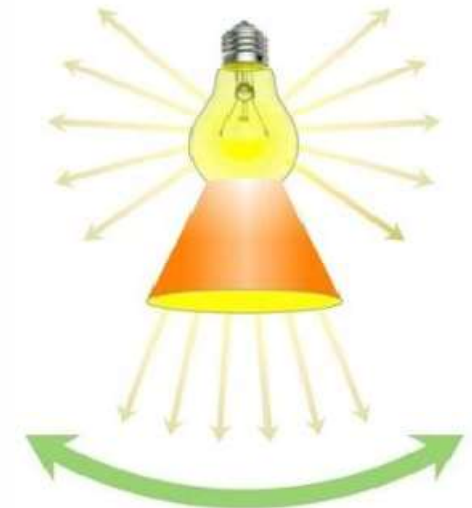
Corresponde a la relación entre flujo luminoso (Φ) emitido en un ángulo espacial infinitesimal, cuyo eje es la dirección en dicho ángulo.

La unidad es *candela* (cd)

Intensidad de luz emitida que tiene la sexagésima parte de 1 cm² de un cuerpo metálico (platino) a temperatura de fusión de 2046 K

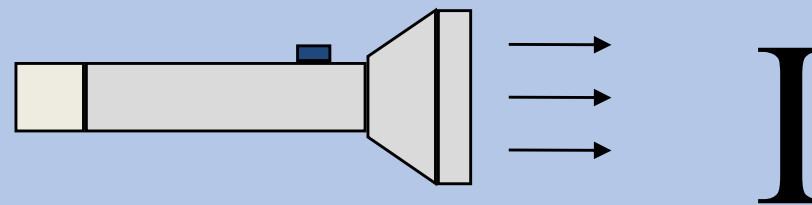
Flujo radiante que atraviesa un ángulo sólido de 1 estero radián de 1 candela

$$4 \pi = \Phi \quad 1 \text{ candela} = 12,56 \text{ lúmenes}$$



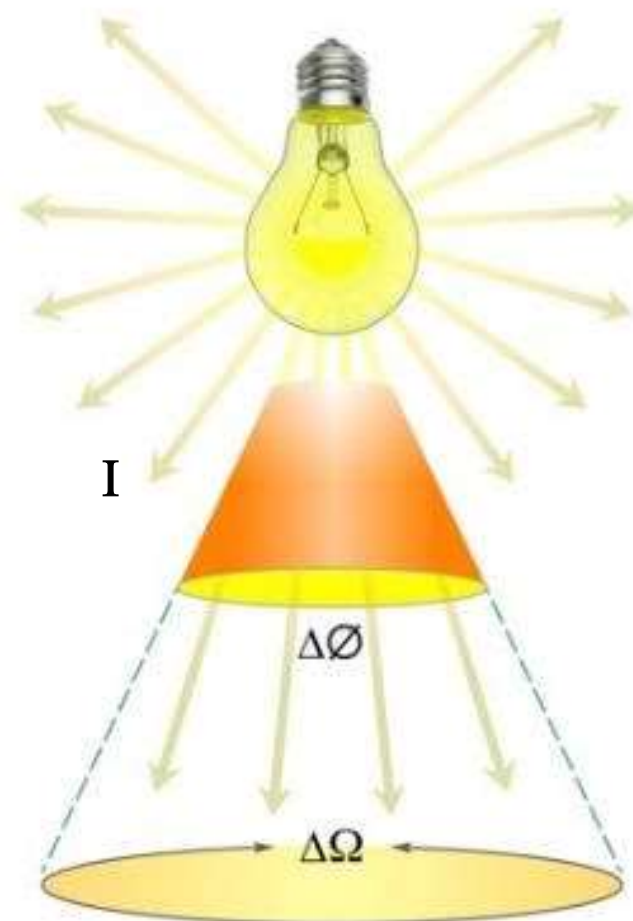
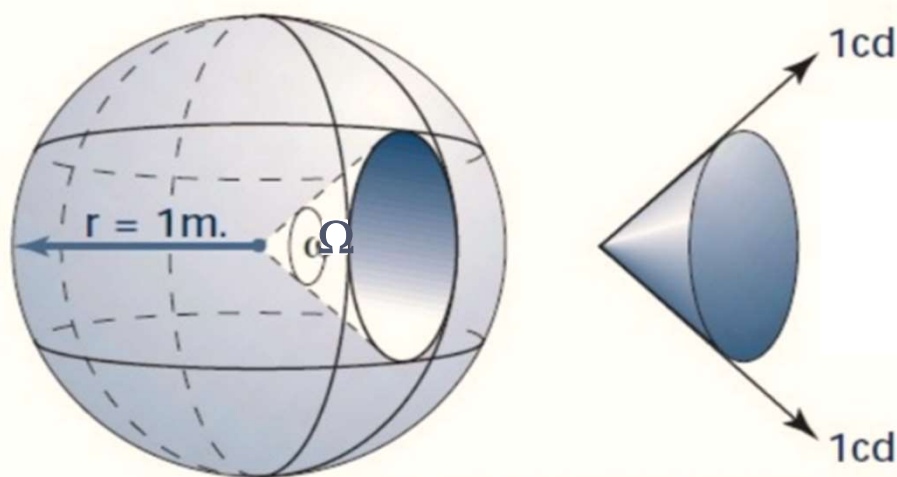
2. Unidades Básicas de Luminotecnia

Intensidad Luminosa **I = Candela (cd)**



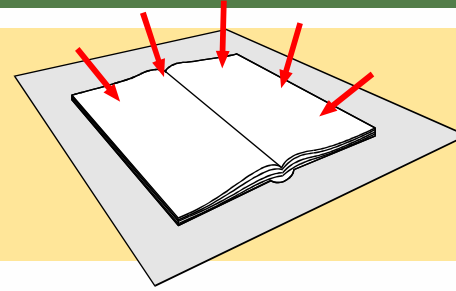
Es la relación entre el flujo (Φ) y el ángulo sólido aparente (Ω)

$$I = \frac{\Phi}{\Omega}$$
$$I = \text{Lm/Sr} = \text{Cd}$$



$\Omega \text{ Total} = 4 \pi$ estero radián

Iluminancia **E** = Lux (Lumen/m²)

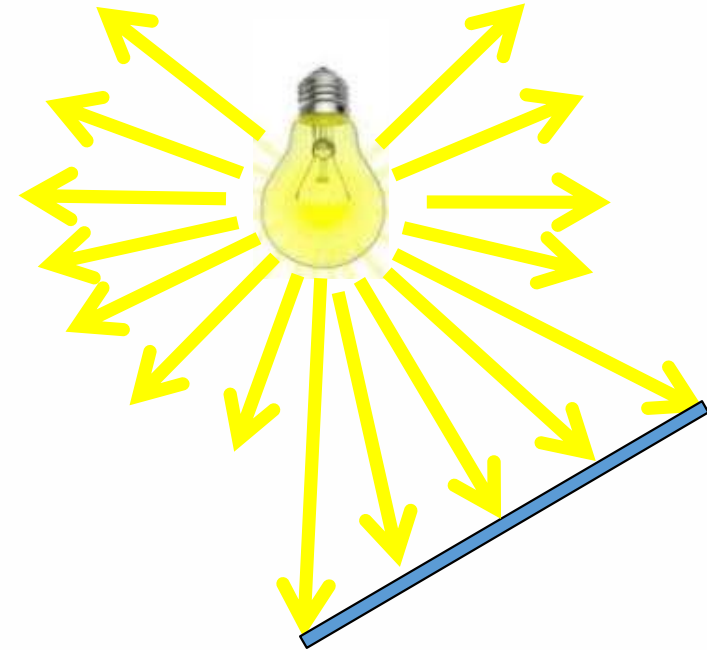


E

La Iluminancia es una medida para la densidad del flujo luminoso (Φ) que llega a una superficie. . Se ha definido como la relación del flujo luminoso que cae sobre una superficie y el área de la misma.

Podríamos decir que corresponde al flujo luminoso recibido por unidad de superficie.

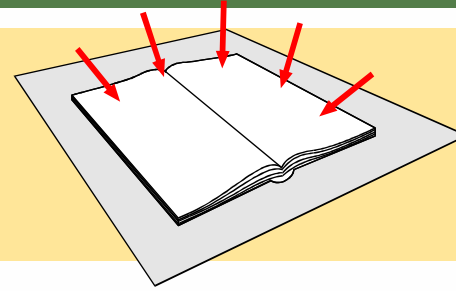
Su unidad es lux (lx), que equivale a un lm/m².



[E] = lux

$$1 \text{ lux} = \frac{1 \text{ lumen}}{1 \text{ m}^2} = \frac{\text{flujo luminoso}}{\text{superficie}}$$

Illuminancia $E = \text{Lux (Lumen/m}^2\text{)}$



E

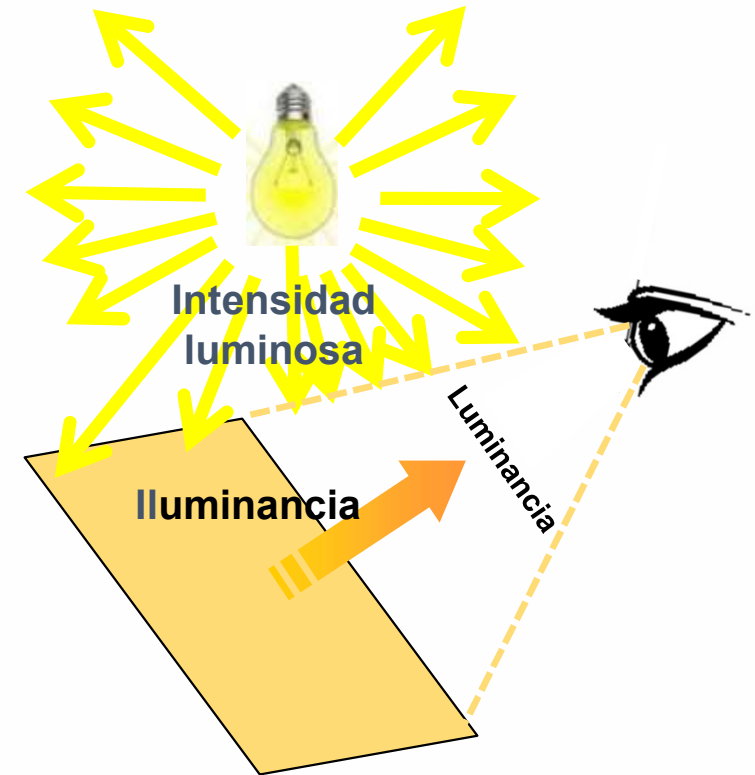
Las magnitudes anteriores, se refieren a la fuente de emisión lumínica. La luminancia por el contrario nos describe la luz que emite una superficie y que el ojo ve.

Se llama luminancia a la relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente vista por el ojo en una dirección determinada.

La luminancia reflejada por una superficie es la medición física de la claridad o el brillo fotométrico y depende de como la superficie iluminada refleje la luz que llega a ella procedente de la fuente luminosa.

Cantidad de luz que emite en dirección a los ojos, una superficie. La unidad es la (cd/m^2).

Ejm. Si una pared blanca recibe 300 lux de iluminación su luminancia será de 270 lúmenes (lo que refleja)

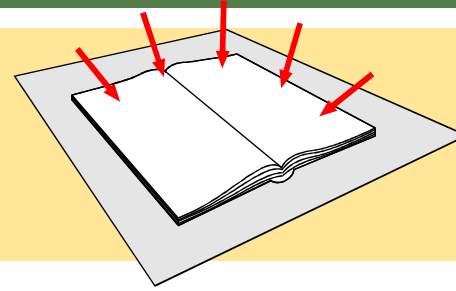


$$[L] = \text{cd} / \text{m}^2$$

$$\frac{\text{Candela}}{\text{m}^2} = \pi \text{luxes} = 3,14 \text{luxes}$$

2. Unidades Básicas de Luminotecnia

Iluminancia $E = \text{Lux (Lumen/m}^2\text{)}$



E

Medición de la iluminancia

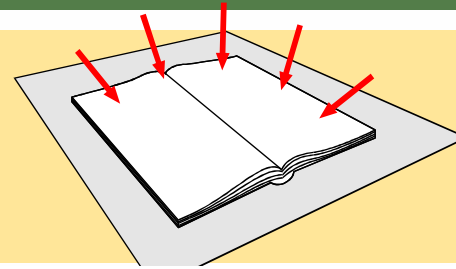


Luxómetro Extech data logging (HD450)

Rango de iluminancia del instrumento: 400, 4.000, 40k, 400k (Lux)

Exactitud: $\pm 5\%$ rdg, calibrado según ISO/CIE 19476:2014

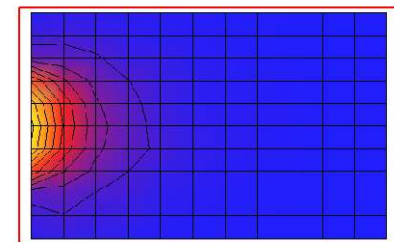
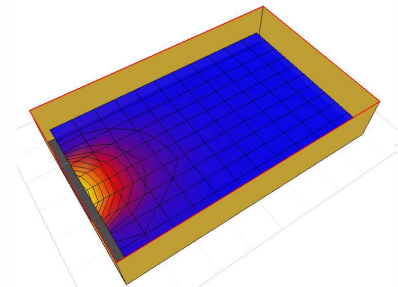
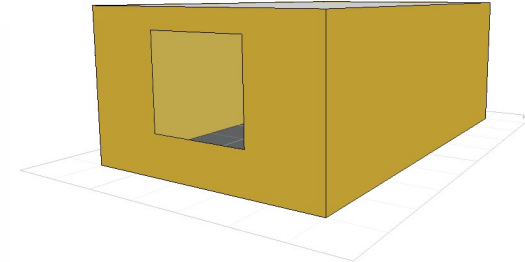
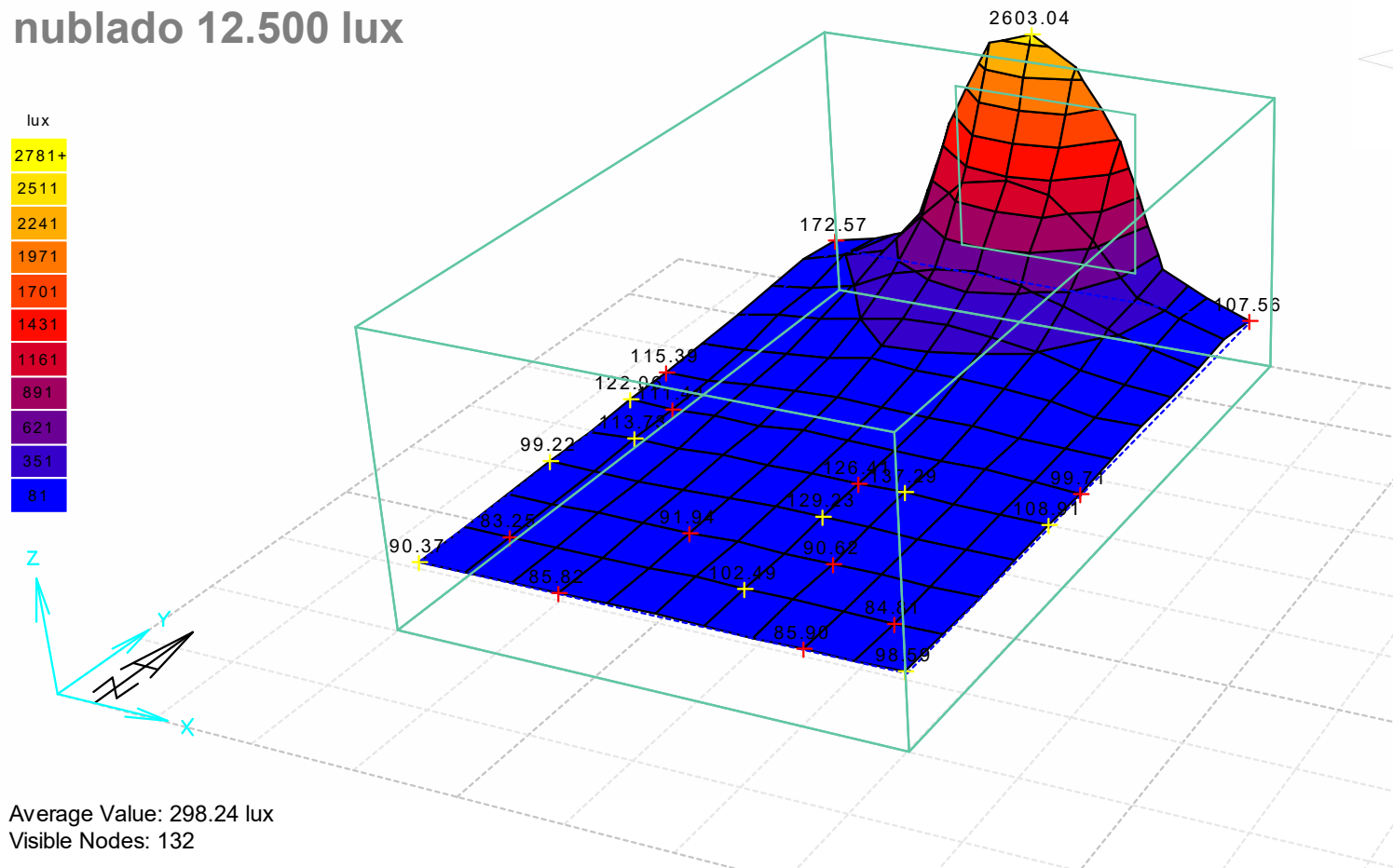
Iluminancia $E = \text{Lux (Lumen/m}^2\text{)}$



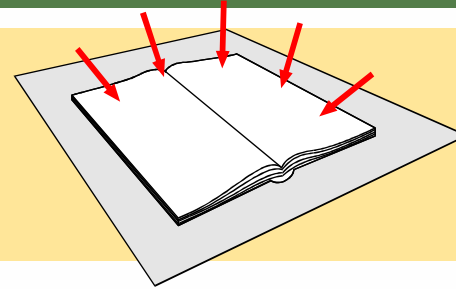
E

Niveles de iluminancia (lux) al interior de una habitación

Condición de cielo
nublado 12.500 lux



Iluminancia **E = Lux (Lumen/m²)**



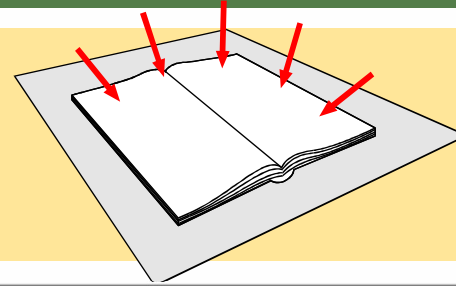
E

Nivel de Iluminancia recomendados en Chile

Tabla N° 11.24
NCH Electricidad
4/2003

Iluminancias Mínimas para locales Comerciales e Industriales	
Tipo de local	Iluminancia [Lux]
Auditorios	300
Bancos	500
Bodegas	150
Bibliotecas públicas	400
Casinos, Restoranes, Cocina	300
Comedores	150
Fábricas en general	300
Imprentas	500
Laboratorios	500
Laboratorios de instrumentos	700
Naves de máquinas, herramientas	300
Oficinas	400
Pasillos	50
Salas con iluminación suplementar en c/punto	150
Salas de dibujo profesional	500
Salas tableros eléctricos	300
Subestaciones	300
Salas de ventas	300
Talleres de servicios, reparaciones	200
Vestuarios industriales	100

Iluminancia **E = Lux (Lumen/m²)**



E

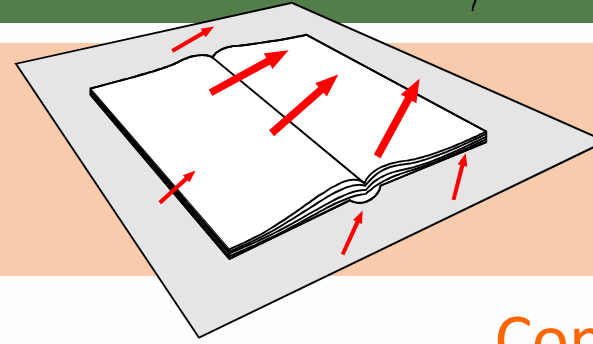
Nivel de
iluminación sobre
una superficie -
iluminancia-
(comisión
internacional de
iluminación)

E (lux)	
20	Valor mínimo en interiores fuera de las zonas de trabajo. Iluminancia necesaria para reconocer rasgos de fisonomía.
200	Iluminancia mínima en puestos de trabajo con ocupación permanente.
2000	Iluminancia máxima en puestos de trabajo normales.
20000	Iluminancia para tareas visuales especiales, por ejemplo, iluminación en campo de operaciones.

E (lux)	
20-50	Caminos y áreas de trabajo en el exterior.
50-100	Orientación en espacios de permanencias breves.
100-200	Espacios de trabajo no siempre ocupados.
200-500	Tareas visuales con escaso grado de dificultad.
300-750	Tareas visuales con mediano grado de dificultad.
500-1000	Tareas visuales con elevadas exigencias (trabajos de oficina, etc.).
750-1000	Tareas visuales con elevada dificultad (montajes de precisión, etc.).
1000-2000	Tareas visuales con dificultad muy elevada (tareas de control, etc.).
> 2000	Iluminación adicional para tareas difíciles y especiales.

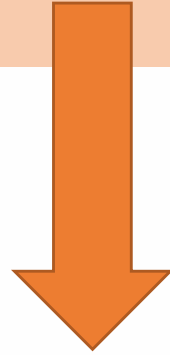
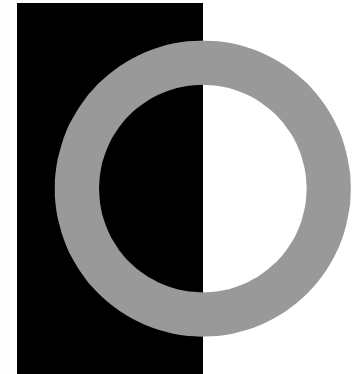


Luminancia $L = \text{Candela/m}^2$



L

Contraste y brillo

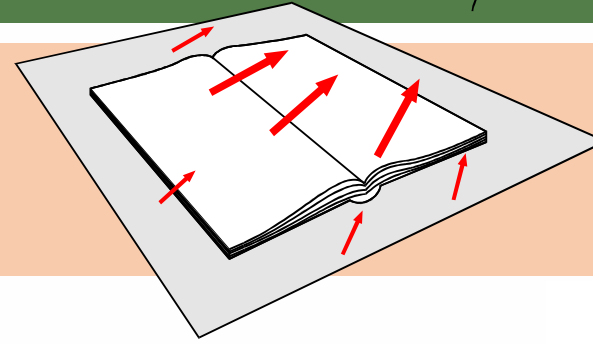


Incide en la Percepción y Confort Visual



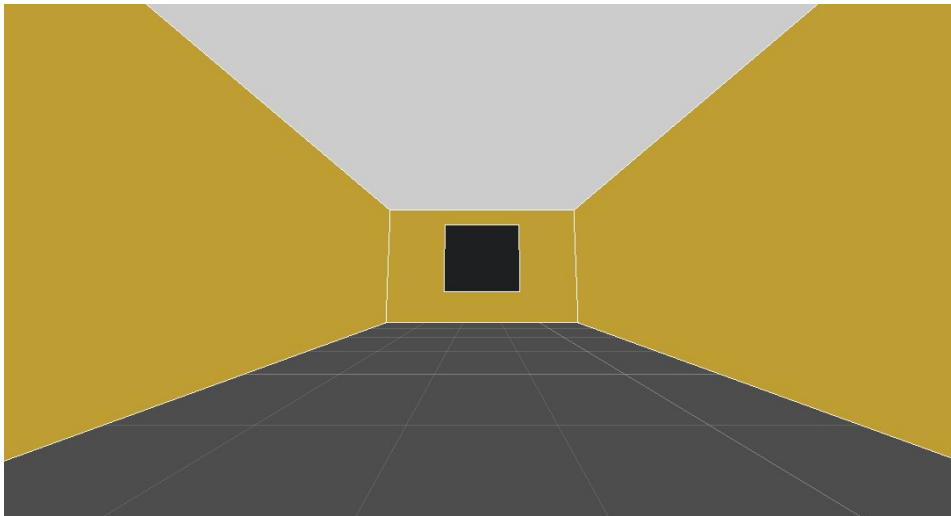
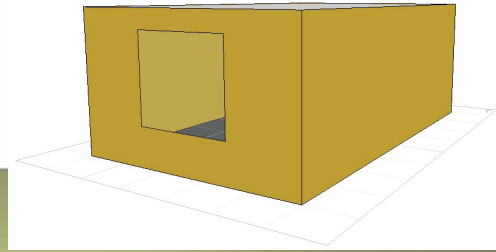


Luminancia $L = \text{Candela/m}^2$



L

Modelo de una habitación para verificar luminancias



Muro lateral izquierdo y fondo



Vista a ventana norte

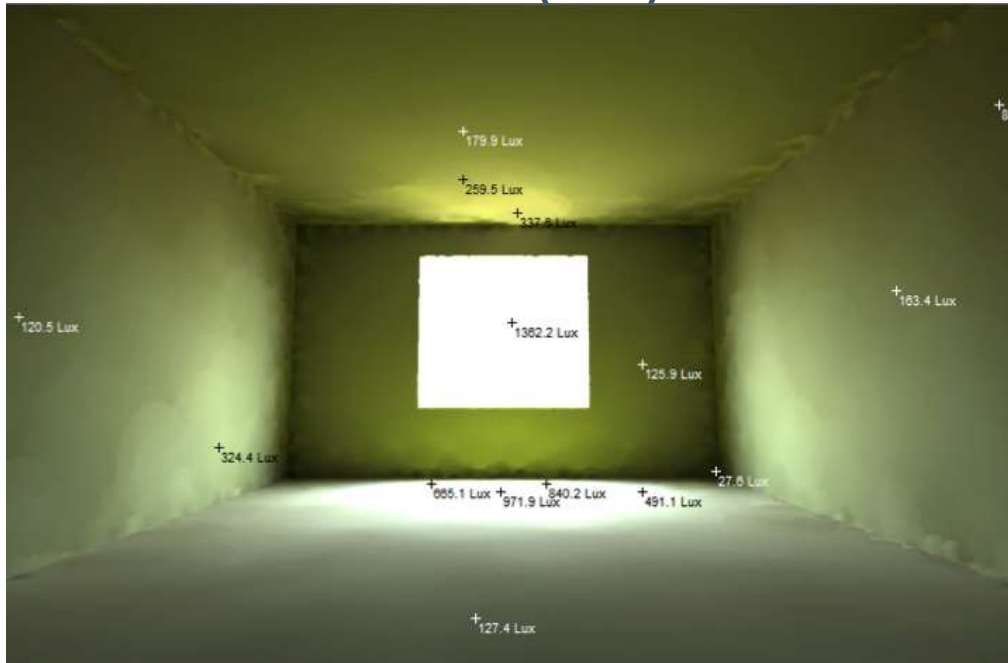


Muro lateral derecho y fondo

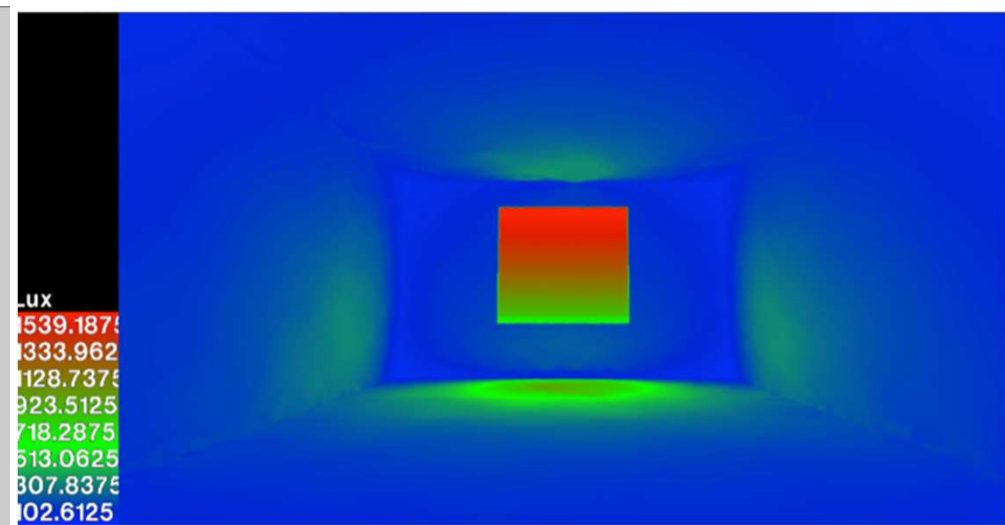
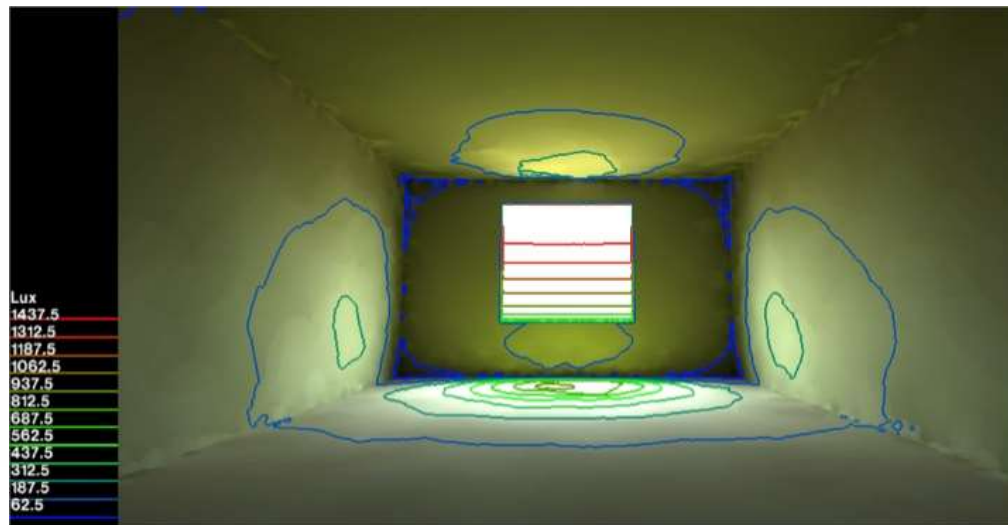
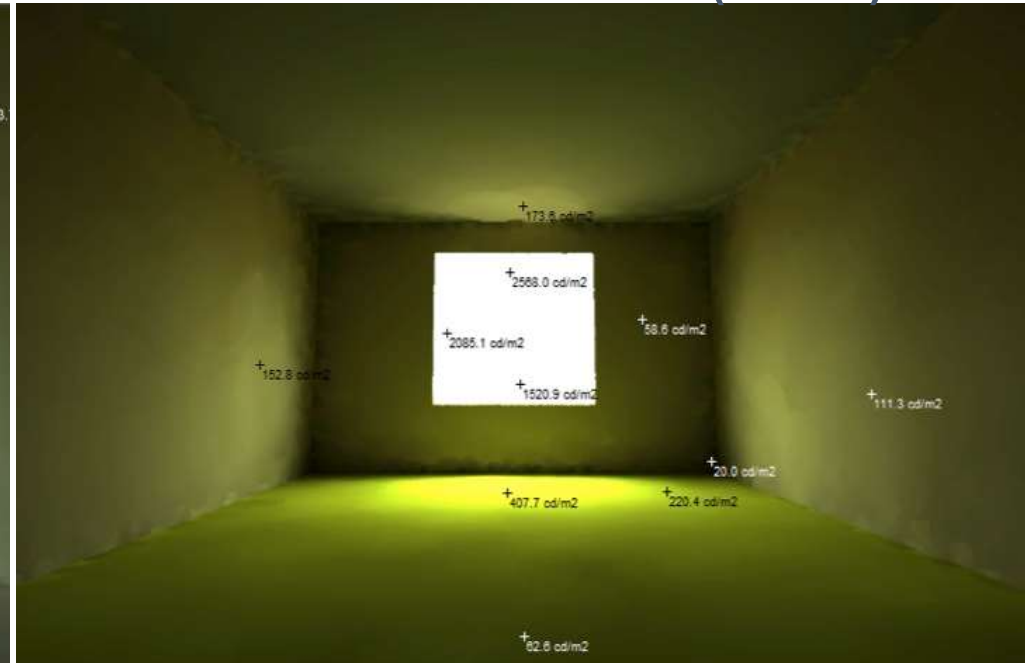
2. Unidades Básicas de Luminotecnia

21 JUNIO cielo nublado

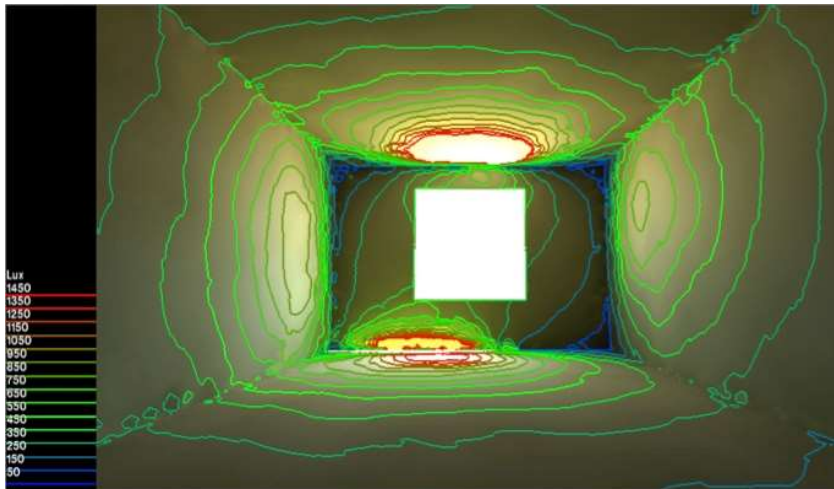
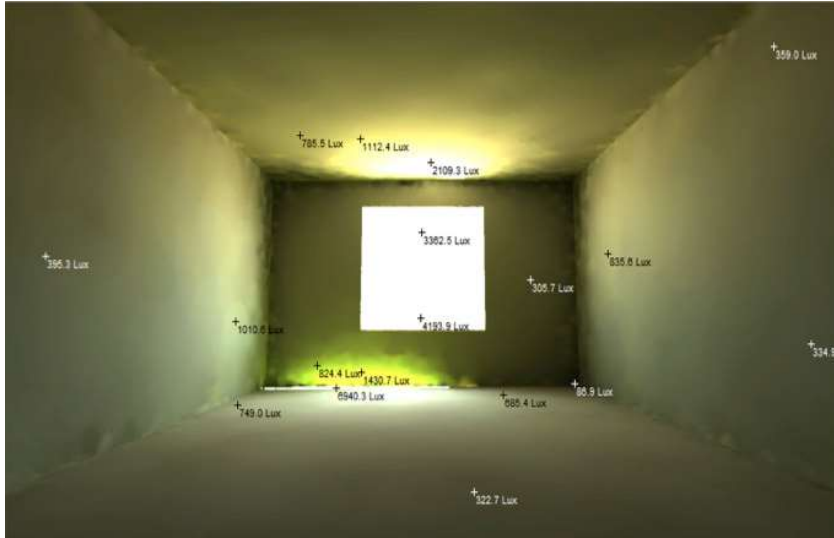
Illuminancias (Lux)



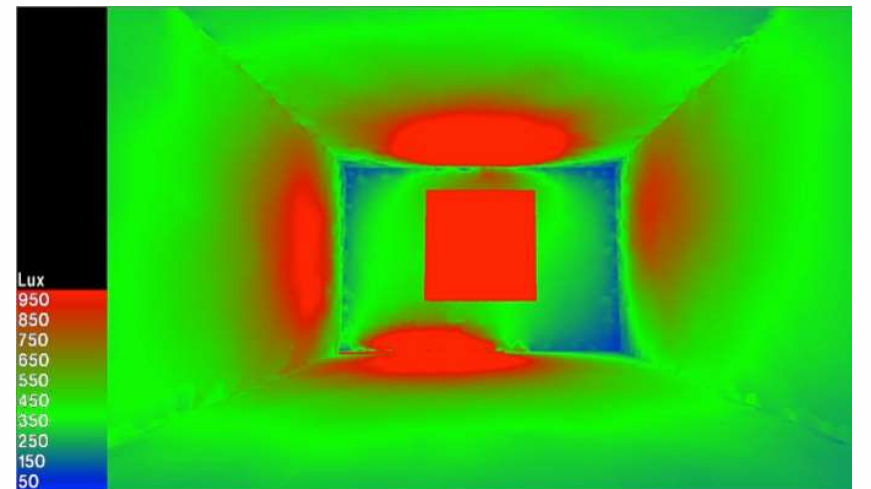
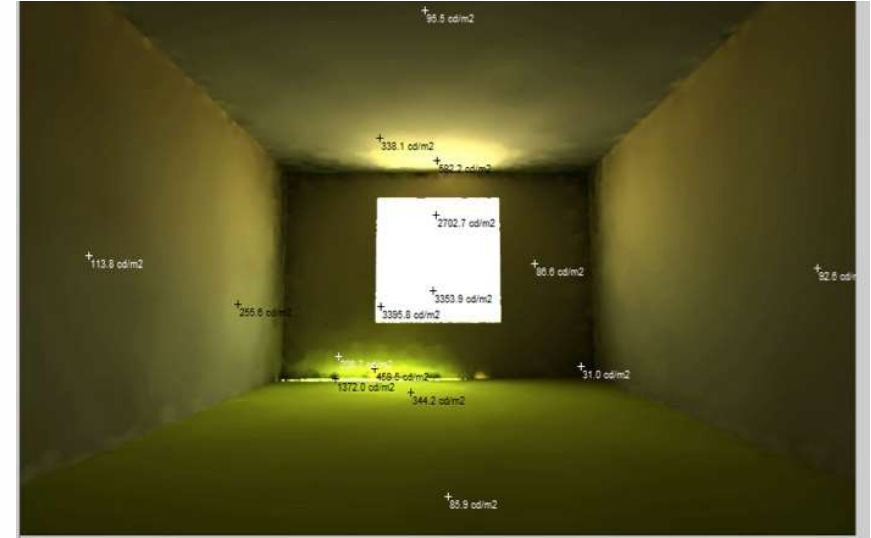
Luminancias (cd/m²)



21 DICIEMBRE cielo soleado Iluminancias (Lux)



Luminancias (cd/m²)



El cielo entrega diferentes niveles de iluminancias, según cada época del año estas variación modifican totalmente la percepción luminosa en el interior

3. Ambientes luminosos y uniformidad

El objetivo de la iluminación es producir un adecuado ambiente visual. Un ambiente es adecuado si asegura el confort visual y si cumple con los requerimientos para las tareas visuales según la función del espacio.

Las recomendaciones saludables en el tratamiento de los espacios luminosos, promueven el uso de luz natural en el interior y especialmente en el plano de trabajo, sin embargo ésta proviene habitualmente de manera lateral y como vimos anteriormente, junto a la ventana se encuentra muy iluminado y hacia el interior pobremente. Esta diversidad de brillos es muy incomoda, por la variedad de contrastes que nos exigen permanente acomodación visual.

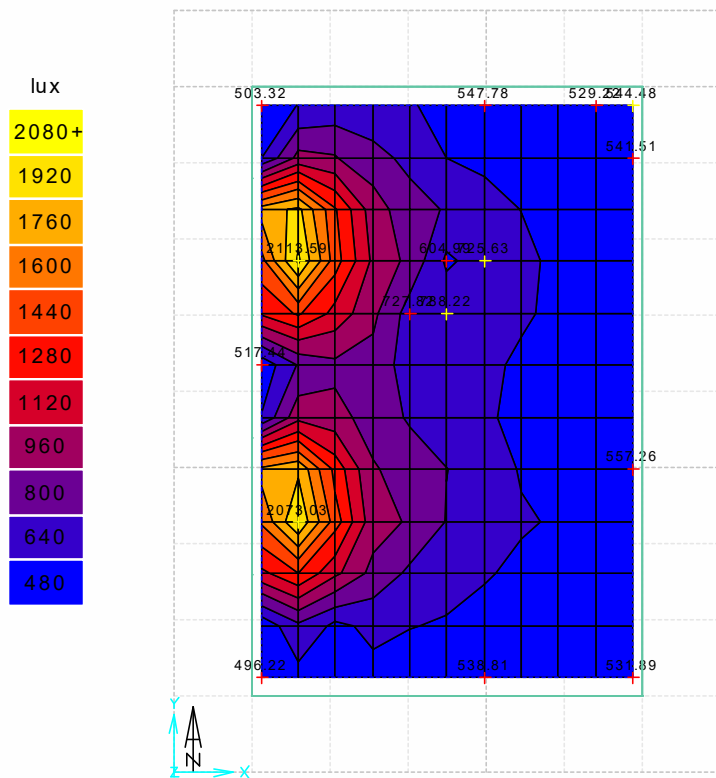
La uniformidad de la iluminación garantiza comodidad visual y es muy apropiada en espacios de alta ocupación de personas, no exceptuando espacios individuales donde puede alcanzarse con menor dificultad.

Además, de acuerdo a los estándares de iluminancia, (nacional Art. 4; internacionales CIE; IES); la iluminación natural excede los requerimientos de iluminancias en los espacios interiores, sin embargo la disponibilidad apropiada en el interior permitirá importante ahorro energético.

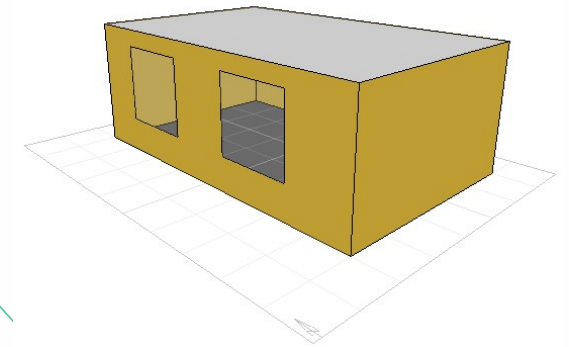
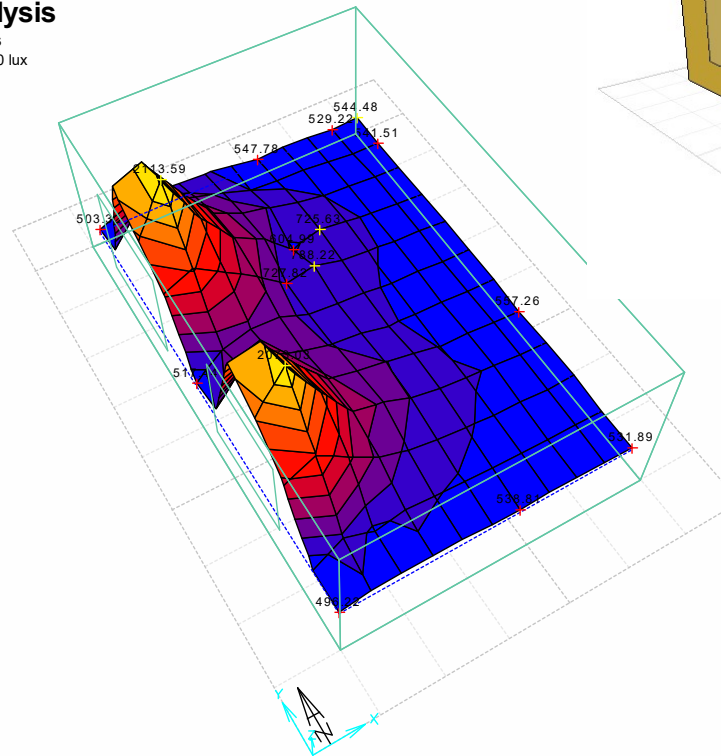


3. Ambientes luminosos y uniformidad

Iluminación lateral, excedida junto a la ventana satisfactoria al interiores
= Altos contrastes entre 2000 lux y 480 lux



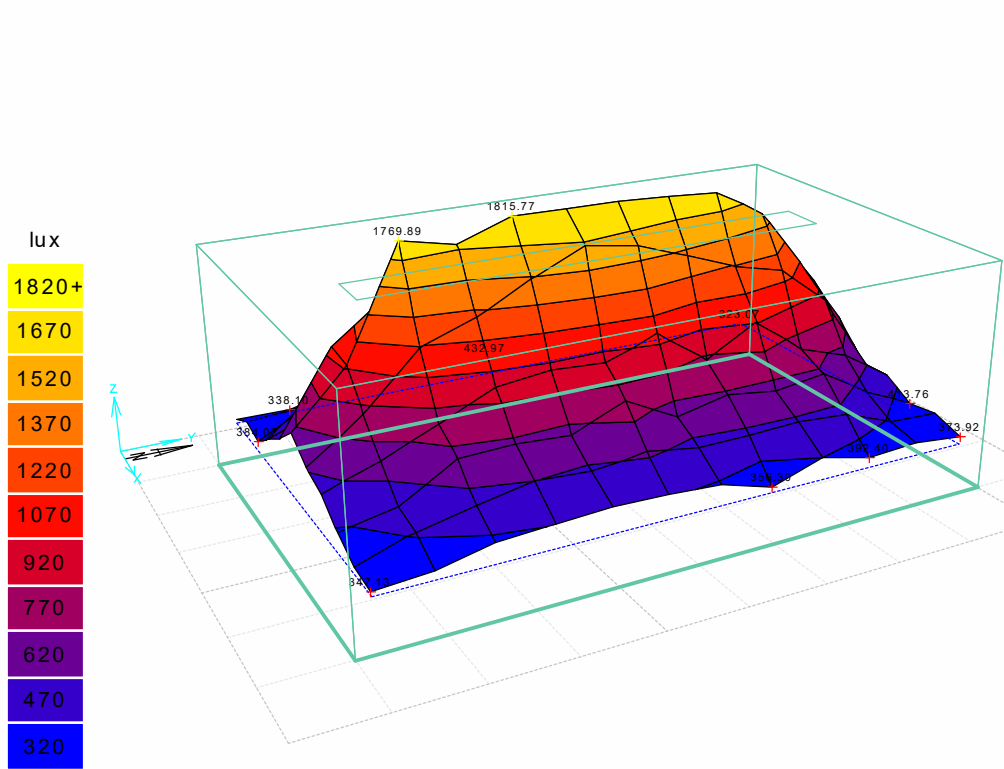
analysis
e ls
2080 lux



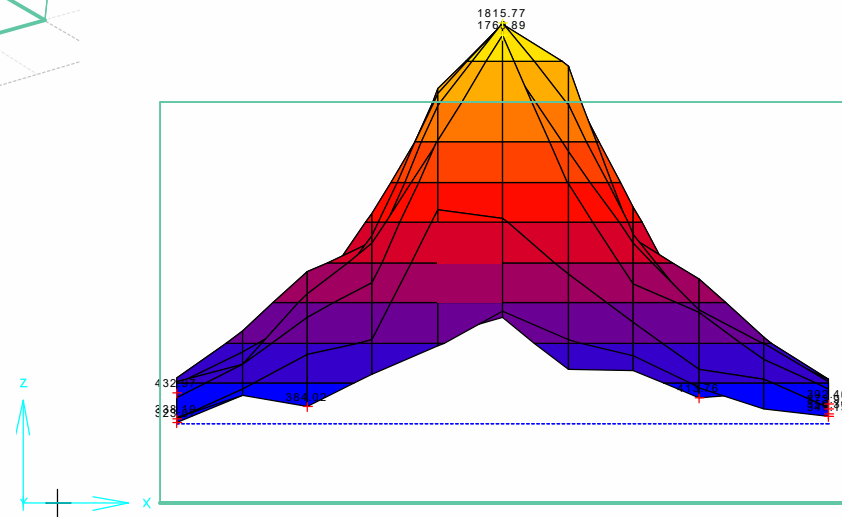
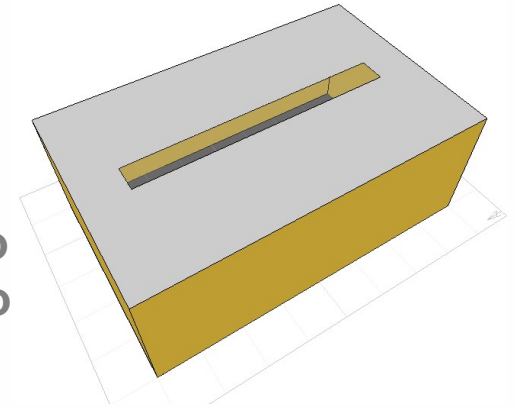
**Iluminancias
medidas
bajo cielo
nublado de
12.500 lux**

3. Ambientes luminosos y uniformidad

Iluminación cenital, sobre iluminado al centro moderado al interior
= Altos contrastes entre 1815 lux y 350 lux



**Iluminancias
medidas bajo
cielo nublado
de 12.500 lux**



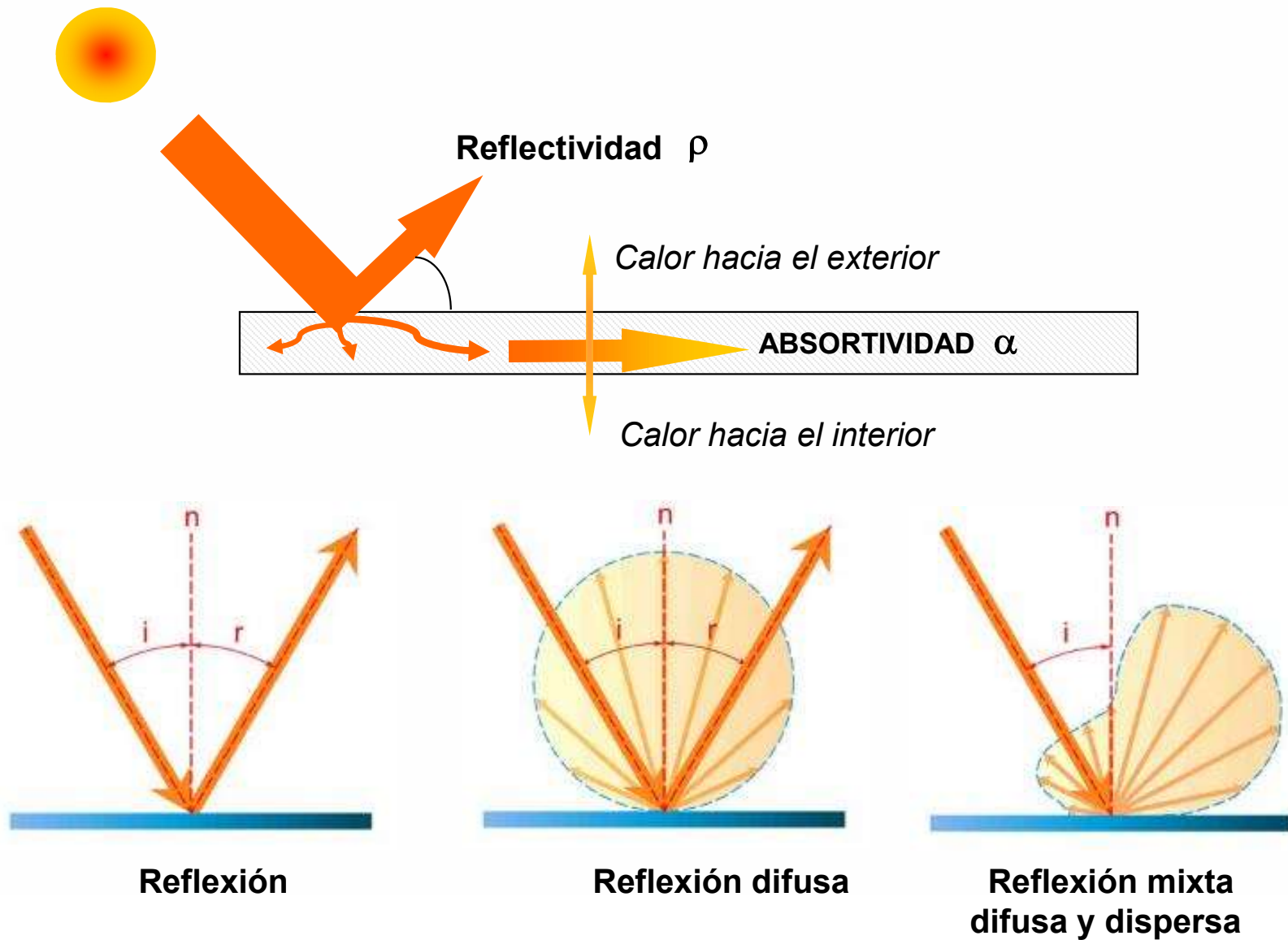
Altos contraste = Deslumbramiento

La no consideración de estos factores puede provocar deslumbramientos o fatiga visual, ya sea por una solicitación excesiva de los músculos ciliares, o bien por efecto de contrastes demasiado fuertes sobre la retina.

- El deslumbramiento directo desde las fuentes de luz, provoca una visión borrosa.
- El deslumbramiento indirecto corresponde a lo reflejado desde las fuentes como ocurre cuando las vemos el brillo luminoso en alguna superficie altamente reflectiva (una mesa blanca, un mueble, un cristal, un espejo), produce fatiga visual.



Interacción de la luz con la materia



4. Algunas materialidades

Verificación reflectancia de una superficie

Para conocer la reflectancia del gris de la maqueta ($r_{o \text{ material}}$) se utilizó un patrón gris ($r_{o \text{ patrón}}$). Se midió la brillo luminoso de ambos (cd/m^2); luego se remplazaron los valores en la formula luminancia-luminancia.

Evaluación de la luminancia del gris en maqueta-



Luminancímetro Minolta LS100
Calibrado
ISO/CIE 19476:2014



Caso de estudio



Enfoque para medición gris
785 (cd/m^2)
 $r_{o \text{ patrón}} = 0,23$



Patrones Kodak
615 (cd/m^2)
 $r_{o \text{ patrón}} = 0,18$

Para identificar la reflectancia se aplicó la siguiente formula:

$$r_{o \text{ material}} = r_{o \text{ patrón}} \cdot \frac{L_{\text{material}}}{L_{\text{patrón}}} =$$

Como antecedente general se puede decir que la luminancia del patrón blanco es 2130 (cd/m^2) y la reflectancia de 0,89 - 0,9.

4. Algunas materialidades

Selectividad materiales y pinturas

La **reflectividad** $\rho = 1 - \alpha$, permite juzgar la naturaleza más o menos reflectiva de los cuerpos. Las pinturas al aceite tienen un comportamiento prácticamente único a cortas longitudes de onda (LO) y variados a **radiación solar** (RS)

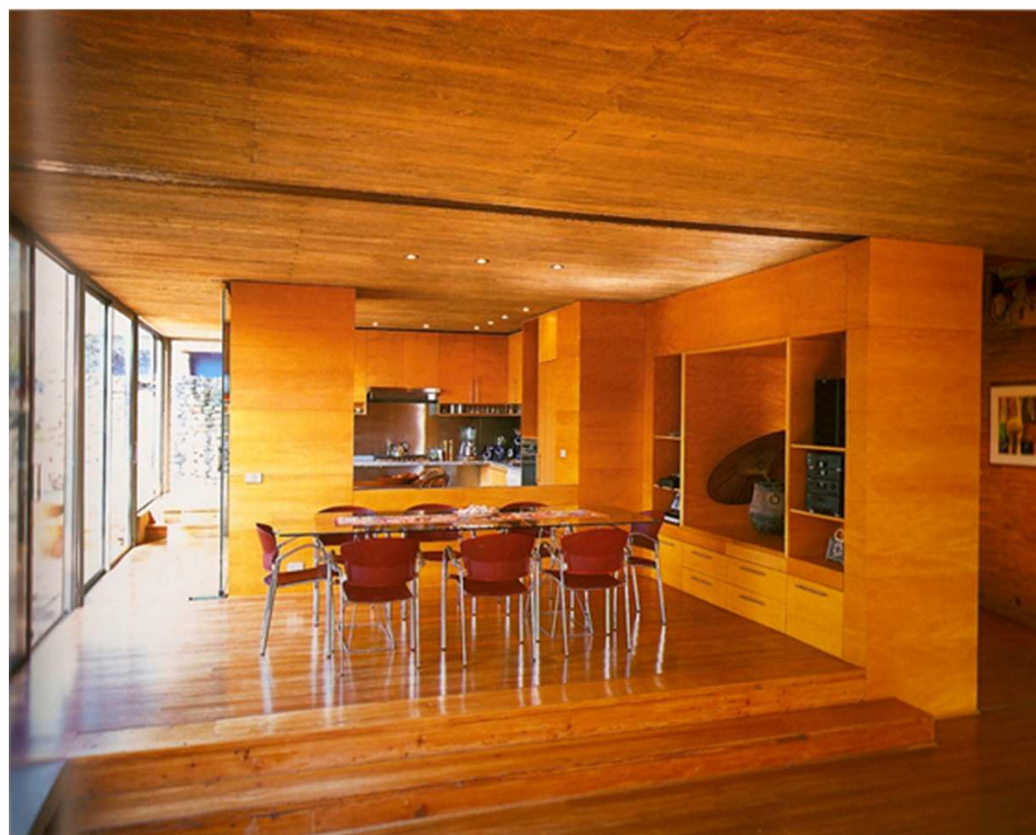
MATERIALES Y PINTURAS	Cortas LO - RS		80-70%	70-60%	60-50%	50-40%	40-30%
	α_{RS}	$\rho_{RS} = 1 - \alpha_{RS}$					
ALUMINIO BRILLANTE	0,05	0,95	80-70%	70-60%	60-50%	50-40%	40-30%
ALUMINIO OXIDADO	0,15	0,85	80-70%	70-60%	60-50%	50-40%	40-30%
ACERO GALVANIZADO	0,65	0,35	80-70%	70-60%	60-50%	50-40%	40-30%
HORMIGONES	0,80 – 0,90	0,10 – 0,20	80-70%	70-60%	60-50%	50-40%	40-30%
LADRILLO ROJO	0,55	0,45	80-70%	70-60%	60-50%	50-40%	40-30%
REVOQUE DE CAL NUEVO	0,12	0,88	80-70%	70-60%	60-50%	50-40%	40-30%
PINTURA AL ACEITE: BLANCA	0,20	0,80	80-70%	70-60%	60-50%	50-40%	40-30%
GRIS CLARO	0,40	0,60	80-70%	70-60%	60-50%	50-40%	40-30%
GRIS OSCURO	0,70	0,30	80-70%	70-60%	60-50%	50-40%	40-30%
VERDE CLARO	0,40	0,60	80-70%	70-60%	60-50%	50-40%	40-30%
VERDE OSCURO	0,70	0,30	80-70%	70-60%	60-50%	50-40%	40-30%
NEGRO CORRIENTE	0,85	0,15	80-70%	70-60%	60-50%	50-40%	40-30%

4. Algunas materialidades

Reflectancias

Metales	
Aluminio, alto brillo.	0,80-0,85
Aluminio, mate anodizado.	0,75-0,85
Aluminio, mate.	0,50-0,75
Plata, pulido.	0,9
Cobre, pulido.	0,60-0,70
Cromo, pulido.	0,60-0,70
Acero, pulido.	0,50-0,60

Materiales de construcción	
Revoque.	0,70-0,85
Yeso.	0,70-0,80
Esmalte, blanco.	0,60-0,70
Mortero, claro.	0,40-0,50
Hormigón.	0,30-0,50
Granito.	0,10-0,30
Ladrillo, rojo.	0,10-0,20
Vidrio, claro.	0,05-0,10



Pinturas	
Blanco.	0,70-0,80
Amarillo claro.	0,60-0,70
Verde claro, rojo claro, azul claro, gris claro.	0,40-0,50
Beige, ocre, naranja, gris medio.	0,25-0,35
Gris oscuro, rojo oscuro, azul y verde oscuro.	0,10-0,20

Fuente: Rüdiger, G.; Harald, H.

5. Sistemas ópticos para el transporte de luz

En las ultimas décadas algunas tecnologías basada en la óptica de los materiales han permitido desarrollar, diversos sistemas lumínicos de aprovechamiento de la iluminación natural, llevándola al interior de los espacios, algunos son:

- Bandejas de luz**
- Tubo de luz o lumiducto**
- Tubos de luz con espejos direccionado**
- Cajas de luz**
- Anidólicos**



5. Sistemas ópticos para el transporte de luz

Las **bandejas de luz** son superficies altamente reflectivas que permiten el ingreso de luz solar desde el exterior al interior de la habitación, reflejando los rayos solares hacia la parte superior (cielo).

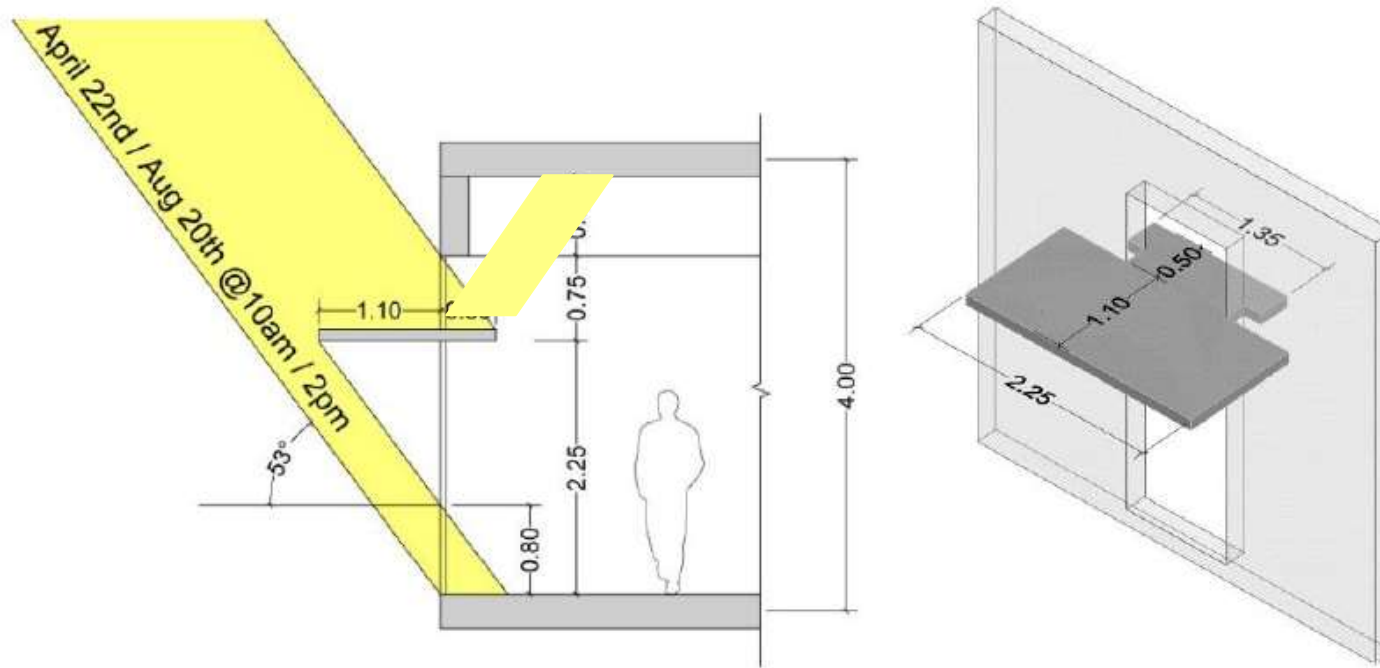


Figure 1. Cross section of the room (left) and axonometric view of the final design of the light shelf (right).

Analysis of the Impacts of Light Shelves on the Useful Daylight Illuminance in Office Buildings in Toronto

Umberto Berardi a*, Hamid Khademi Anaraki

Energy Procedia (2015) - 6th International Building Physics Conference, IBPC 2015

5. Sistemas ópticos para el transporte de luz

Bandejas de luz de aluminio combinada con control solar y vistas al exterior



Iluminación
directa

Bandejas de luz
Iluminación difusa

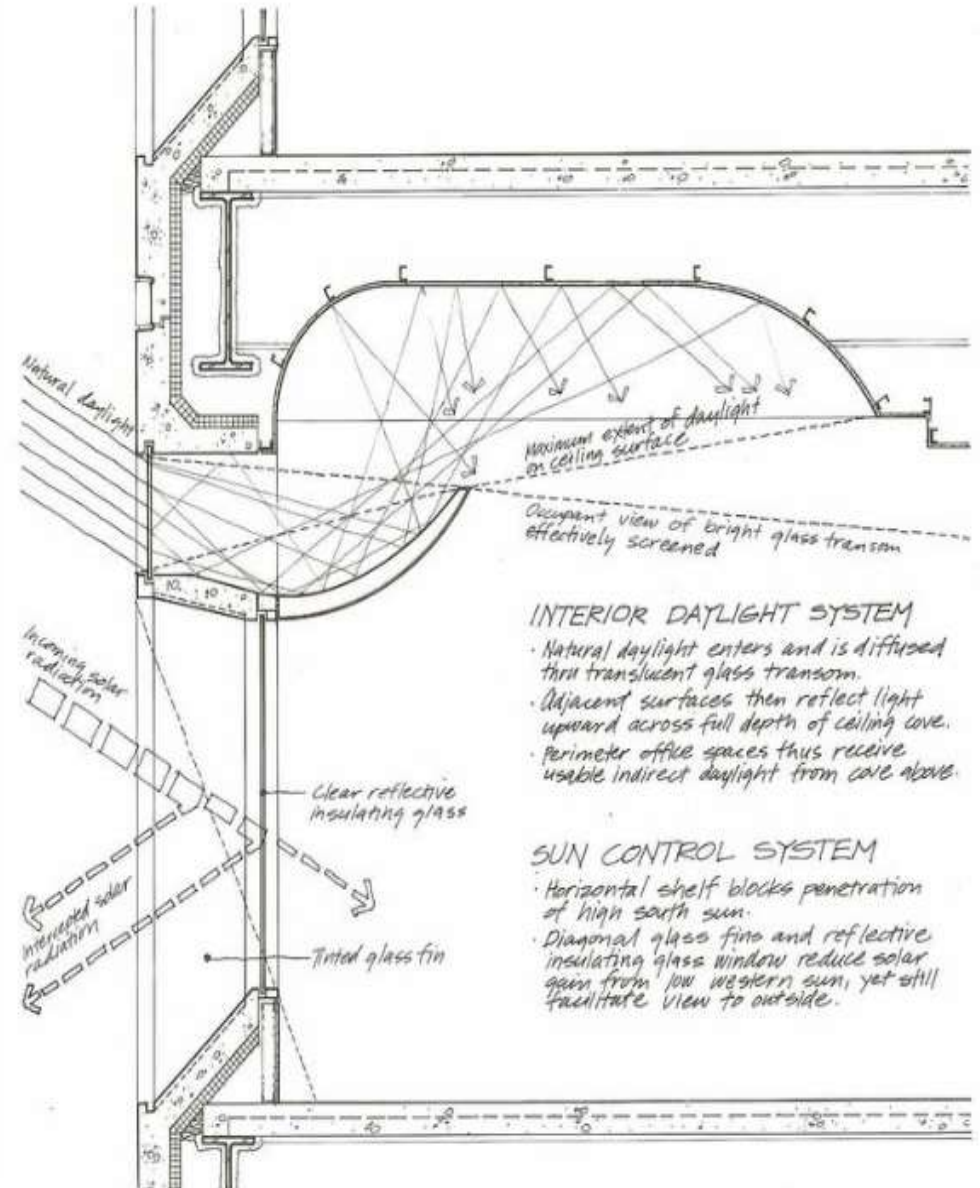
Control solar
cortina enrollable

Vista

Sistemas anidólicos

Este avanzado sistema que re direccionan la luz diurna, esta compuesto de un colector externo sobre la parte superior de la fachada del local, conectados a ducto altamente reflectivo ubicado bajo el cielo o en algunos casos totalmente integrado al cielo.

Son sistemas ópticos altamente reflectivos



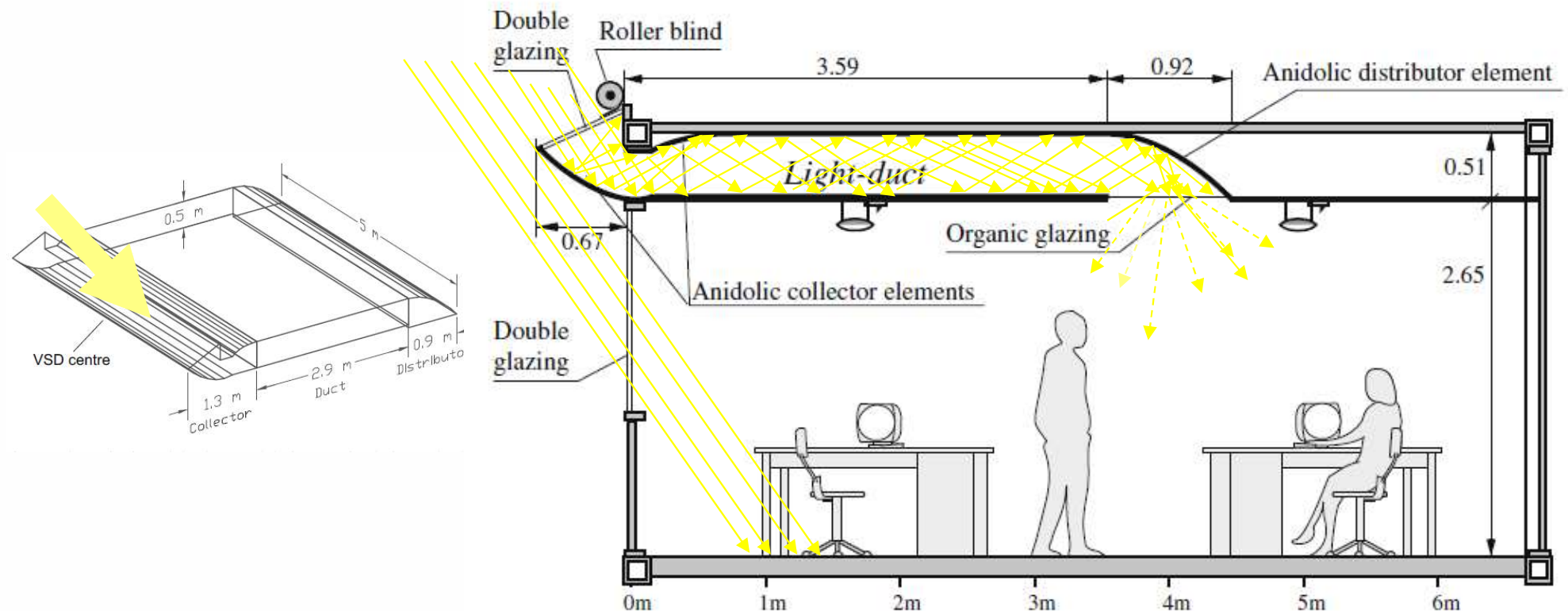
5. Sistemas ópticos para el transporte de luz

Sistema anidólico

La reflectancia interior debe ser mayor a 90% para minimizar las pérdidas por absorción del flujo luminoso al interior del sistema.

Las pruebas de este sistema bajo cielo nublado mostraron incrementos significativos de la iluminación natural al interior del recinto favoreciendo ahorros de eléctrica del orden del 30%.

F. Linhart et al. / Solar Energy 84 (2010) 1085–1094



Towards hybrid lighting systems: A review

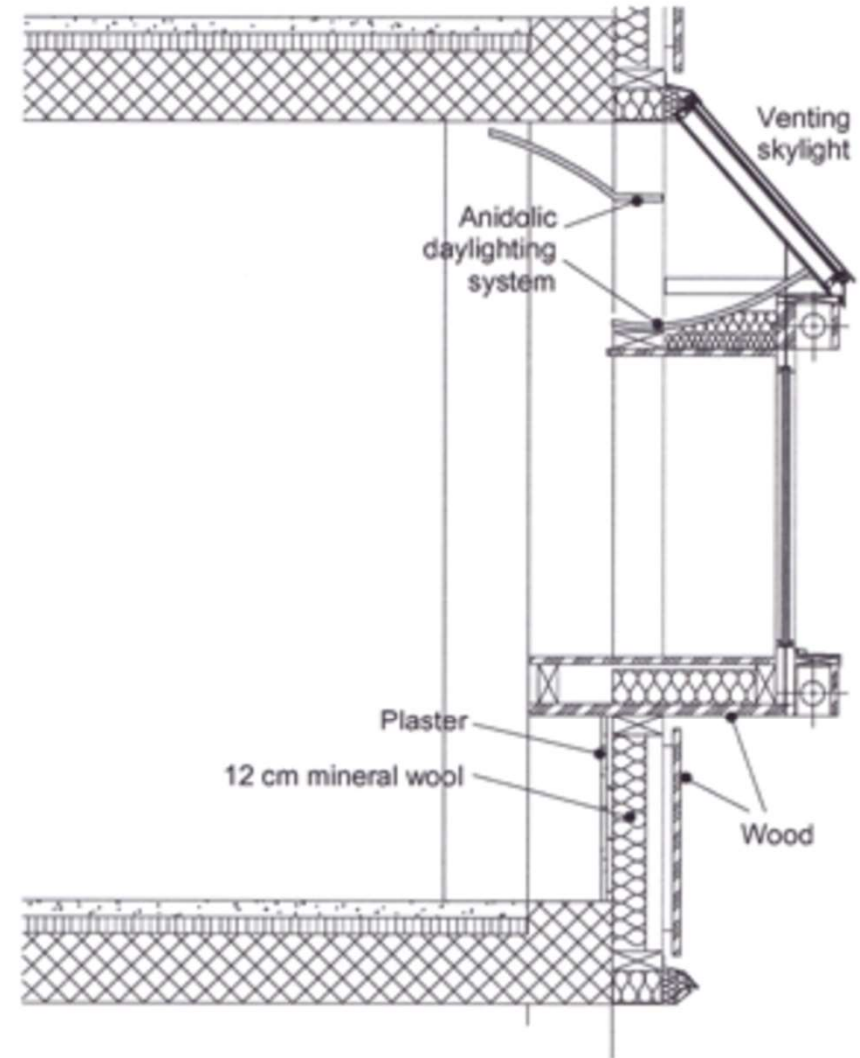
MSMayhoub and DJ Carte

Lighting Res. Technol. 2010; 42: 51–71

5. Sistemas ópticos para el transporte de luz

Sistema anidólico

LESO, Universidad de Laussane

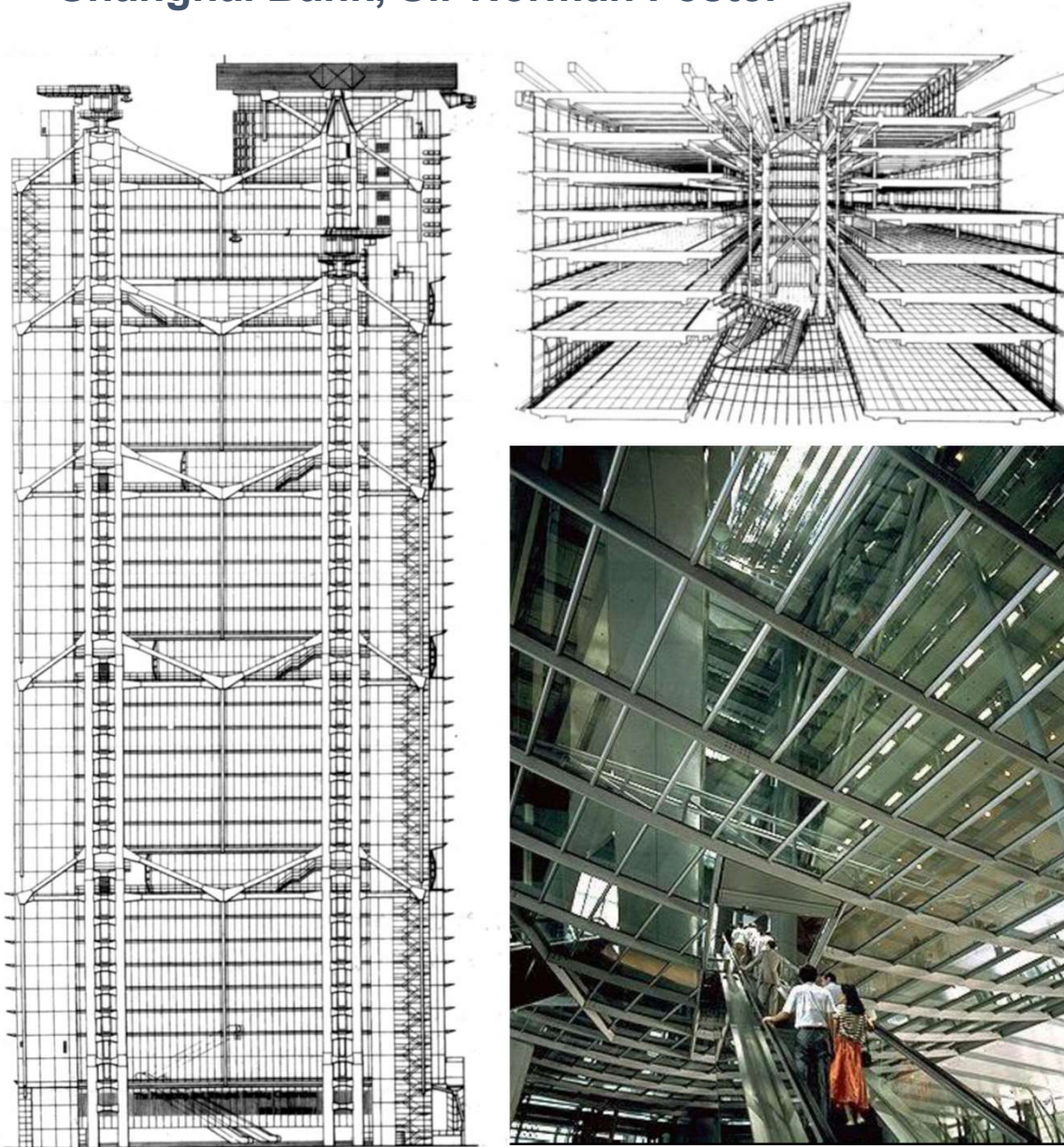


Natural Ventilation for Passive Cooling : Measurement of Discharge Coefficients (PDF Download Available).

https://www.researchgate.net/publication/223395181_Natural_Ventilation_for_Passive_Cooling_Measurement_of_Discharge_Coefficients [accessed May 9, 2017]

5. Sistemas ópticos para el transporte de luz

Sistema anidónico Shanghai Bank, Sir Norman Foster



Edificio Consistorial de Chañaral. (2022) Chañaral, Región de Atacama

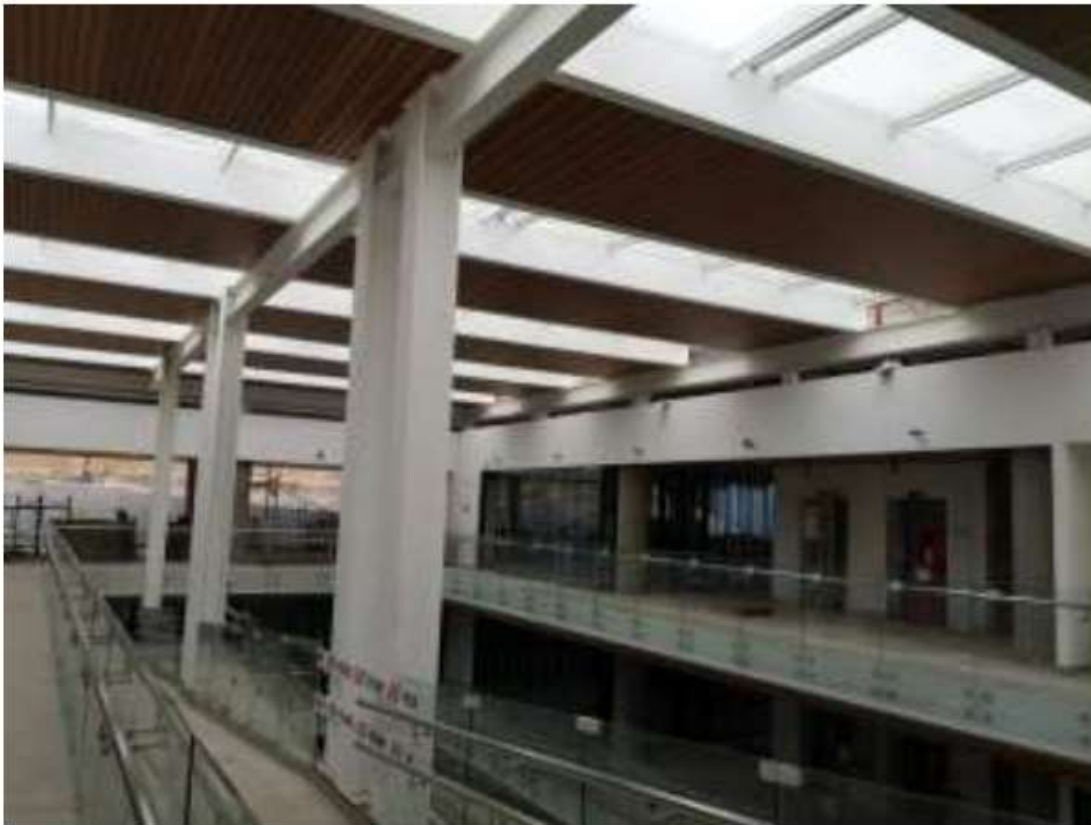


- 1.750 metros cuadrados de superficie construida total
- 2ndo lugar de los Premios CES en la categoría Edificio Certificado
- Obtuvo 61,5 de 100 puntos durante el año 2022 y alcanzó el nivel de Certificación Destacada.



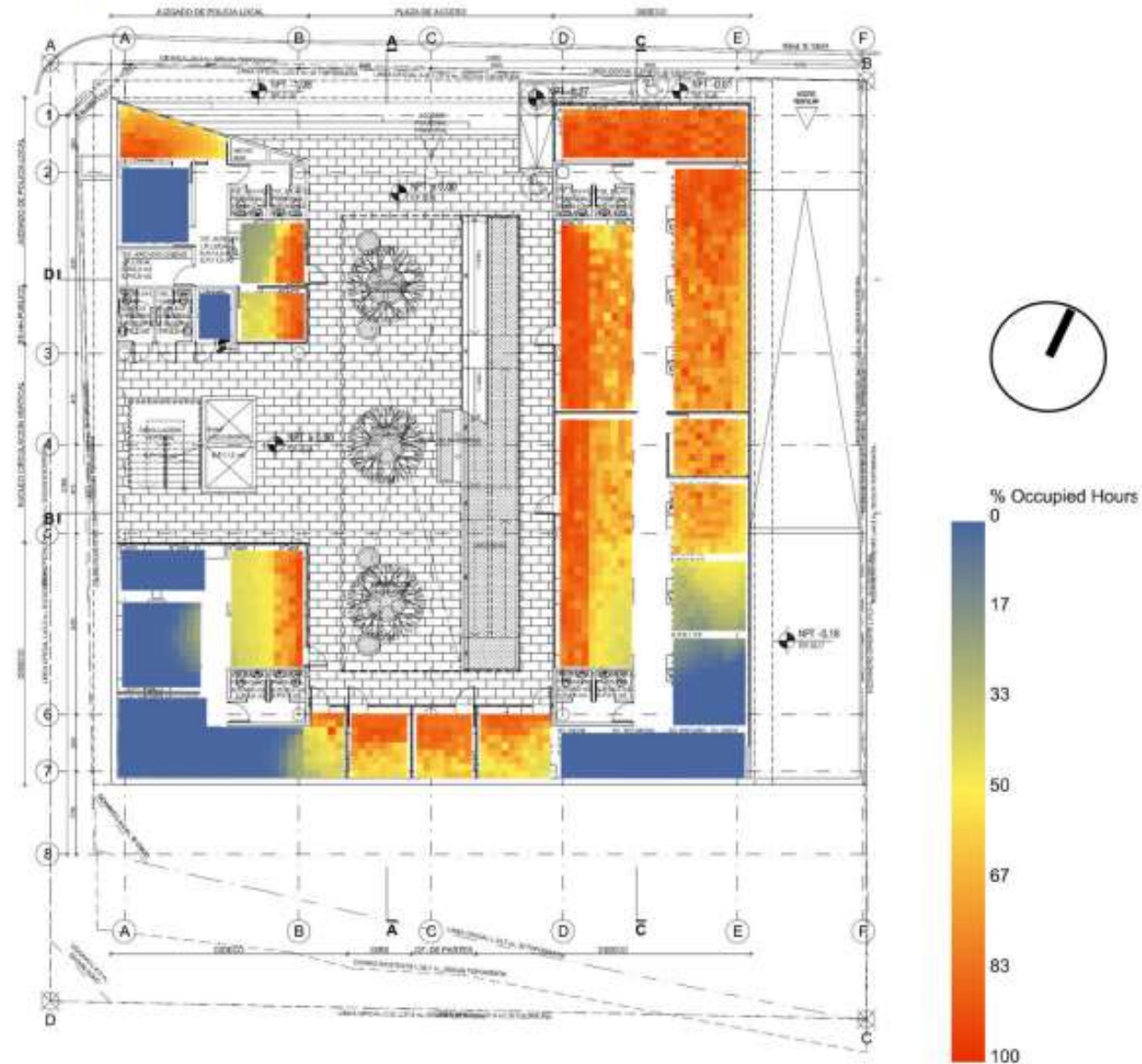
Edificio Consistorial de Chañaral. Chañaral, Región de Atacama

- Confort Visual Pasivo_ Factor Luz Día o Iluminancia útil mínimos
- Más del 75% de la superficie del edificio se encuentra con iluminancia útil superior a 60%.
- Registro fotográfico de fachadas y de recintos.
- Certificados de ventana



Edificio Consistorial de Chañaral. Chañaral, Región de Atacama

PRIMER PISO:





TERCER PISO



PHS

PRINCIPIOS DE
**HABITABILIDAD Y
SOSTENIBILIDAD**