

COMO LA LUZ CONDICIONA EL ESPACIO

UNA COMPARATIVA ENTRE LOS PAISES NÓRDICOS Y VALENCIA

Alumno

Juan Casanova Aparicio

Tutor

Salvador Lara Ortega

Curso 2019-2020

Trabajo de Fin de Grado

Grado en Fundamentos de la Arquitectura



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR
D'ARQUITECTURA

RESUMEN

La idea sobre la que se va a profundizar en este trabajo de investigación es, un estudio de la incidencia de la luz natural sobre los espacios en aquellos lugares que, a lo largo del año, reciben poca luz dado su contexto geográfico en comparación con aquellos lugares cuyo porcentaje de luz al año es elevado.

Por lo tanto, se realizará un estudio de la luz en relación con la posición del hueco en la fachada, así como su dimensión, para diferentes tipos de huecos. En referencia a lugares con escasez de luz natural se realizará el estudio de tres ciudades de los Países Nórdicos, en concreto, Oslo en Noruega, Copenhague en Dinamarca y Tampere en Finlandia. Mientras que, como ciudad representativa de aquellos lugares con mayor incidencia de luz al año, se analizará Valencia, España.

Por último, se realizará un análisis del aprovechamiento de la luz a la hora de la creación de espacios de cada uno de los casos, así como una comparativa entre ambos.

PALABRAS CLAVE

Luz natural · Espacio · Países Nórdicos · Aberturas · Iluminación interior

ABSTRACT

The idea on which this research will be deepened in is, a study of the incidence of natural light on spaces in those places where, during the year, they receive few natural light given their geographical context compared to those places whose percentage of light a year is higher.

Therefore, a study of the light will be carried out in relation to the position of the opening in the façade, as well as its dimension, for different types of openings. In reference to places with a shortage of natural light, three cities in the Nordic countries will be studied, in particular, Oslo in Norway, Copenhagen in Denmark and Tampere in Finland. Whereas, as a representative city of those places with the highest incidence of natural light a year, the city of Valencia, in Spain, will be analysed.

Finally, an analysis of the daylight use will be carried out when creating spaces in each of the cases, as well as a comparison between them all.

KEY WORDS

Daylight · Space · Nordic countries · Openings · Interior lighting

ÍNDICE

	Págs.
1. Introducción	4
2. Objetivo y metodología	5
3. Estado de la cuestión	6
3.1. Naturaleza física de la luz	6
3.2. Magnitudes y propiedades	7
3.3. La iluminación natural en la arquitectura	9
3.3.1. Arquitectos de la luz	11
i. Louis Kahn	11
ii. Tadao Ando	12
iii. Alvar Aalto	13
iv. Alberto Campo Baeza	14
3.4. Características de la iluminación natural	15
3.4.1. Fuentes de iluminación	15
3.4.2. Clima luminoso	17
3.4.3. Entorno luminoso	17
4. Comportamiento de la luz natural en un espacio interior	21
5. Criterios del diseño con luz natural	24
5.1. Parámetros de diseño	24
5.2. Sistemas de iluminación natural	25
5.3. Tipos de aberturas	26
6. Métodos de cálculo de la iluminación natural	29
7. Casos de estudio	32
7.1. Descripción de la pieza	33
7.2. Aberturas analizadas	34
7.2.1. Abertura A0	35
7.2.2. Abertura A1	36
7.2.3. Abertura A2	37
7.2.4. Abertura B0	38
7.2.5. Abertura B1	39
7.2.6. Abertura B2	40

7.2.7. Abertura B3	41
7.2.8. Abertura C0	42
7.2.9. Abertura C1	43
7.2.10. Abertura C2	44
7.2.11. Abertura D1	45
7.2.12. Comprobación de los resultados	46
7.3. Aberturas con una superficie del 20%	47
7.3.1. Abertura A0	48
7.3.2. Abertura A1	49
7.3.3. Abertura A2	50
7.3.4. Abertura B0	51
7.3.5. Abertura B1	52
7.3.6. Abertura B2	53
7.3.7. Abertura C0	54
7.3.8. Abertura C1	55
7.3.9. Abertura C2	56
7.3.10. Abertura D1	57
7.3.11. Comprobación de los resultados	58
7.4. Aberturas cenitales	60
7.4.1. Abertura D3	61
7.4.2. Abertura D3 + D1	62
7.4.3. Comprobación de los resultados	63
8. Tabla resumen y comparativa de los casos estudiados	64
9. Conclusión	66
10. Referencias bibliográficas	68
11. Índice de imágenes	70
ANEXO I – Sistemas para el control de la iluminación natural	
ANEXO II – Tablas de los valores de DF para las 33 capitales de los miembros nacionales del CEN	

1. INTRODUCCIÓN

La luz natural es un recurso primario sin el cual no podríamos percibir lo que nos rodea. Es un elemento capaz de dar forma a los objetos, además de permitir una definición perfecta de los colores. Así mismo es un recurso indispensable para la vida.

No se puede hablar de arquitectura sin en un principio tener en cuenta la luz natural. Es por ello por lo que no se debe considerar la luz como un mero elemento decorativo, sino como un pilar fundamental para la arquitectura, pues nos ofrece calidez en los espacios, así como la percepción de estos; ya sea mediante las sombras, los colores, los contrastes permitiendo una mayor comprensión del espacio.

El estudio de la luz natural en la arquitectura juega un papel fundamental para el ahorro energético de un espacio, así como para la necesidad de conseguir una mayor confortabilidad de este, favoreciendo la salud y el bienestar de las personas que lo habitan.

“La Arquitectura es el juego sabio, correcto y magnifico de los volúmenes bajo la luz”.

Le Corbusier

2. OBJETIVO

El presente trabajo de investigación tiene como propósito realizar un análisis de como la luz incide en un espacio habitado en diferentes contextos geográficos, partiendo en un principio de una base teórica, continuado con una base técnica.

El objetivo principal es marcar unas pautas por las cuales se pueda aprovechar al máximo la luz natural, ya sea para crear distintos ambientes y sensaciones dentro de un espacio, como para dotar al espacio de un mayor ahorro energético. Todo ello mediante una comparación entre los contextos geográficos donde el promedio de horas de luz solar al año es bajo, y en aquellos lugares donde es bastante alto.

METODOLOGÍA

El procedimiento que se ha llevado a cabo para la realización del trabajo ha sido:

- Una introducción teórica a las propiedades técnicas de la luz natural, continuando con la relación existente entre esta y la arquitectura. Para ello se realizan unas investigaciones históricas y técnicas de la iluminación natural.
- Estudio técnico y físico por el cual la luz natural penetra en un espacio interior.
- Se plantean unos criterios básicos estandarizados para un correcto diseño de la edificación, en sus primeros pasos, considerando la iluminación natural como la iluminación principal para la edificación.
- Exposición de los casos de estudio seleccionados y justificación de estos. Se ha realizado una selección de los casos teniendo en cuenta las aberturas mas comunes en la edificación.

Los casos de estudio muestran unos resultados para unas aberturas comunes para luego, posteriormente, compararlas según las condiciones climatológicas únicas para cada uno de los contextos geográficos.

En la última parte del trabajo se presentan los resultados de los casos de estudio analizados, se comparan entre ellos y se mencionan las posibles soluciones para conseguir que un edificio tenga suficiente iluminación natural durante el día.

3. ESTADO DE CUESTIÓN

La luz natural se entiende principalmente como la luz emitida por el sol, por lo que no es susceptible de ser transformada por el hombre. Las propiedades de la luz dependen de aspectos naturales y son particulares para cada lugar.

La luz emitida, no solo nos permite ver, sino que también condiciona la orientación, el diseño, materialidad y forma de los edificios y de los paisajes. La capacidad del ser humano para visualizar los objetos viene determinada por la luz. Lo que el ojo humano percibe es la luz que se ve reflejada sobre las superficies de los materiales.

Como bien dijo Le Corbusier, “La arquitectura es el juego sabio, correcto y magnifico de los volúmenes bajo la luz”¹. Es por ello por lo que resulta imprescindible conocer las características y la fenomenología de la luz natural, y como el conjunto de estas permiten la transformación de la percepción visual dentro de un espacio.

3.1. Naturaleza física de la luz

Según la Real Academia Española (RAE), la luz es el agente físico que hace visible a los objetos. Desde un punto de vista físico, la luz se define como la energía electromagnética radiante que puede ser captada por el ojo humano, y cuya longitud de onda va desde el rojo desde el rojo (780 nm), al violeta (380 nm) conformando el espectro visible (Fig. 1.).

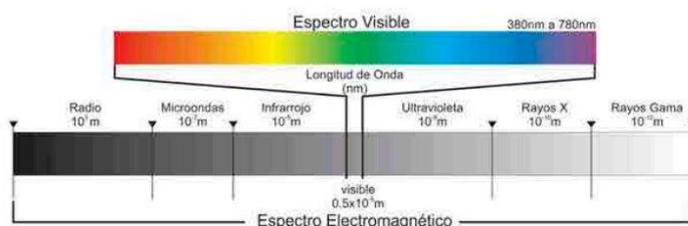


Fig. 1. Espectro de radiación electromagnética y espectro visible

La luz natural es una fuente de iluminación que abarca todo el espectro visible, la cual proporciona la percepción de colores perfectos con variaciones de intensidad, color y distribución de luminancias.

¹ Le Corbusier. *Hacia una Arquitectura*. 1977.

La frase original que Le Corbusier dijo en 1923 fue “La arquitectura es el juego magistral, correcto y magnifico de las masas reunidas en la luz”.

3.2. Magnitudes y propiedades

En orden a estudiar las características y condiciones de la luz dentro de un espacio, se han señalado unas propiedades básicas. Las magnitudes de dichas propiedades sirven de referencia para delimitar unos niveles óptimos para la iluminación de los espacios, tanto interiores como exteriores.

A la hora de marcar unas ideas base para el estudio lumínico dentro de un espacio hay diversos puntos de vista, como sería el estudio de los seis principios visuales de luz de Hervé Descottes. Estos principios básicos serían:

Iluminancia, Luminancia, Color y Temperatura, Altura del sol, Densidad y Distribución. Sin embargo, todos coinciden en que las propiedades o principios propuestos deben estar vinculados entre sí a la hora del estudio de la luz. Como dijo Descottes, “Los principios individuales por sí solos son solo piezas fraccionadas de un puzle, que cuando se unen, logran una única versión a través de la interacción relativa”².

Los principios básicos son el **Flujo luminoso**, la **Intensidad luminosa**, la **Iluminancia**, la **Luminancia**, la **Reflexión** y el **Factor de Iluminación Natural**, los cuales se describen de la siguiente manera:

- **Flujo luminoso**

El flujo luminoso (Φ) es la cantidad de radiaciones electromagnéticas visibles por el ojo humano, que son emitidas por una fuente luminosa en una unidad de tiempo. Según el Sistema Internacional de Unidades (SI), el flujo luminoso se mide en lúmenes (lm), los cuales vienen definidos a partir de las candelas (cd), de tal forma que $1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \cdot \text{estereorradián (sr)}$.

Por lo tanto, el flujo luminoso emitido por un foco luminoso uniforme es la relación entre un ángulo sólido (sr) y la intensidad luminosa (cd).

- **Intensidad luminosa**

La intensidad luminosa (I) se define como el flujo luminoso emitido por una unidad de ángulo sólido en una dirección dada. La unidad de medida es la candela y como veíamos anteriormente: $1 \text{ cd} = 1 \text{ lm} / \text{sr}$.

- **Iluminancia**

La iluminancia (E) o nivel de iluminación se define como la cantidad de flujo luminoso que es emitida por una fuente luminosa e incide sobre una superficie en una unidad de área. La unidad de medida en el Sistema Internacional es el lux: $1 \text{ lux} = 1 \text{ Lumen/m}^2$. La iluminancia tiene como función

² Hervé Descottes. *Architectural Lighting: Designing with Light and Space*. 2011. 12.

La frase original es, “The individual principles alone are but fractional pieces of a greater puzzle that, when joined together, achieve a single version through relative interaction”.

$E = I \cdot \cos \alpha / d^2$, por lo que cuando la fuente es el sol, la atenuación es despreciable debido a la distancia de la fuente con la tierra.

- **Luminancia**

La luminancia (L) o brillo describe la cantidad de luz emitida, que emerge o refleja de una superficie en una dirección determinada desde un ángulo sólido. También puede definirse como la luz emitida o reflejada por un objeto, que es percibida por el ojo humano.

Acorde con el S.I. la unidad de medida es la candela partida por metro cuadrado (cd / m^2), también llamada en Nit³.

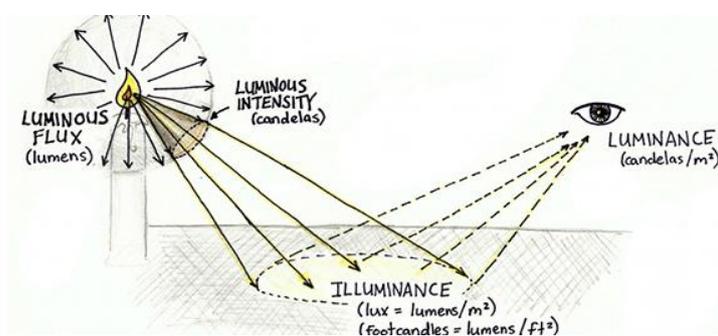


Fig. 2. Magnitudes y propiedades de la luz

- **Reflectancia**

El coeficiente de reflexión o reflectancia es el cociente entre el flujo luminoso reflejado en una superficie y el flujo incidente de la misma.

- **Transmitancia**

La transmitancia o coeficiente de transmisión es el cociente entre el flujo luminoso transmitido en una superficie y el flujo incidente.

³ Unidad de medida no reconocida por el Sistema Internacional, que hace referencia a la cantidad de luz que un teléfono móvil o una televisión son capaces de emitir.

▪ Factor de Iluminación Natural

El factor de iluminación natural (D) o factor de luz de día⁴, corresponde con la relación entre la iluminancia interior de un recinto (E_i) y el nivel de iluminación difuso en un plano horizontal exterior (E_e) bajo las mismas condiciones de cielo. En otras palabras, el factor de luz de día nos indica cuanta iluminancia exterior entra al interior del recinto. El FIN se calcula en condiciones de cielo nublado, debido a que la distribución de luminancia en dicho caso se mantiene uniforme y constante.

Por lo tanto, la fórmula del Factor de Iluminación Natural es:

$$\text{FIN} = E_i / E_e \cdot 100\%.$$

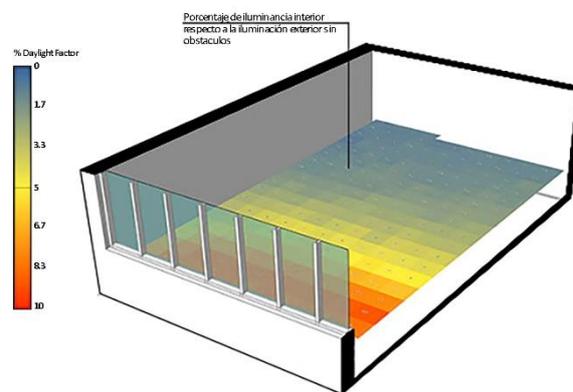


Fig. 3. Análisis del factor de luz de día en un recinto interior

3.3. La iluminación natural en la arquitectura

La iluminación natural a lo largo de la historia ha recibido un papel protagonista, ya incluso durante el Paleolítico cuando la humanidad habitaba las cavernas y esta era capaz de distinguir el día de la noche por los destellos de luz que percibían.

Con el paso del tiempo, el uso de la luz natural cobró varios significados, hasta la actualidad donde la luz natural se ha convertido en un elemento fundamental en el diseño arquitectónico. La luz natural ha sido tema de investigación en diferentes culturas y épocas. En Egipto se dedicaron al culto de la luz, la cual era una parte fundamental de la vida de esta civilización; en Grecia se realizaron los primeros estudios sobre la fenomenología de la luz y la visión, y en Roma se centraron en la relación entre las construcciones y la luz natural.

Ya en el tratado de Vitruvio, escrito a mediados del siglo I a.C., se manifiesta la importancia de dotar a los espacios arquitectónicos, que son habitados por el hombre, de luz natural. Sin embargo, el elemento que cambió la forma de entender la iluminación en la arquitectura, y que transformó la calidad de vida de los habitantes de un lugar, fue la aparición de las aberturas. Estos rudimentarios huecos evolucionaron en lo que hoy conocemos como ventanas, las cuales permitían iluminar y ventilar los espacios interiores.

⁴ Traducido del inglés, el factor de luz de día sería el Daylight factor (D), como podemos observar en la figura 1.3.

Durante los años 65 d.C. y posteriores, los romanos comienzan a utilizar ventanas vidriadas, sin embargo, este sistema no se vio potenciado hasta la Edad Media. Con el paso de los años, con la Revolución Industrial, el diseño de las aberturas se desarrolló de la mano de la producción del cristal, elemento fundamental que determinó la Arquitectura de cristal y hierro en esa época.

Todos estos conocimientos pasados han llegado hasta la actualidad convirtiendo a la luz natural en el material invisible y permanente que es imprescindible para el diseño arquitectónico. La luz nos permite ver el entorno y realizar tareas visuales en un espacio. Actualmente, la luz natural recibe un gran interés debido al ahorro energético que supone su uso a lo largo del día.

Sin embargo, la luz tiene funciones más allá de permitir la visión del hombre. La luz puede influir en la experiencia visual del entorno, por ejemplo, el uso del brillo y oscuridad en los espacios permite señalar una transición en el espacio, o el uso de una iluminación direccional permite resaltar la importancia de algunas superficies u objetos dentro del espacio arquitectónico.

Es por ello por lo que es imprescindible comprender el espacio arquitectónico como la relación existente entre la interacción de la luz con la materia y la forma, y la función única de cada uno de estos elementos en conjunto.

Por un lado, la forma está relacionada con las características que definen cada uno de los elementos en el interior de un espacio. Estos elementos tienen una determinada función y posición en el espacio. Estas características condicionan su relación con la fuente de luz, lo cual permite la aparición de juegos de luces y sombras que dotan al espacio de significado.

Además, cada elemento presenta unas características físicas propias definidas por su materialidad, las cuales influyen en la forma en que la luz se transmite o se refleja en el interior de un espacio.

Un factor fundamental para comprender la relación existente entre la luz y el espacio es que el diseñador no puede controlar la luz natural. Sin embargo, el diseñador sí puede controlar la forma en la que la luz entra en el espacio mediante la utilización de elementos arquitectónicos.

Otro factor que considerar es que cada lugar viene definido por su contexto geográfico y orientación, y que estas características son particulares para cada lugar. El entorno natural de cada contexto no solo aporta las condiciones formales y materiales del espacio, sino que también lo complementa.

Por lo tanto, la función del diseñador es la de dirigir la luz sobre los distintos elementos que conforman un espacio a fin de lograr un determinado efecto que lo defina. De esta forma mediante el uso de elementos arquitectónicos, el diseñador es capaz de dotar al espacio de diferentes significados permitiendo que la luz y el espacio formen parte de un único contexto.

3.3.1. Arquitectos de la luz

En este apartado se describen a algunos arquitectos modernos y contemporáneos reconocidos por su habilidad para el manejo de la luz natural en su trayectoria proyectual. Cada uno de los siguientes arquitectos aborda el tema de la luz natural desde su propio punto de vista, logrando con ello adoptar una iluminación del espacio con distinto significado.

Los conocimientos que han adquirido a lo largo de su trayectoria les han permitido transformar la percepción del espacio mediante el uso de elementos arquitectónicos bajo condiciones lumínicas conocidas. Como veremos a continuación, para algunos arquitectos, la luz se considera como el elemento principal de la arquitectura, pero cada uno de ellos concibe la luz como el elemento capaz de conseguir la armonía entre el espacio, materia y forma.

i. Louis Kahn

Louis Kahn afirmaba que un espacio no podía considerarse espacio arquitectónico, hasta que este no recibiera luz natural. Dicho con sus palabras, “Yo diría que todos los espacios necesitan luz natural. Todos los espacios dignos de llamarse espacio necesitan luz natural. La luz artificial es tan solo un momento lírico y breve de la luz. Y la luz natural es la plenitud de la luna, y sencillamente marca la diferencia”⁵.

Kahn daba importancia a la relación entre la masa y el espacio, donde la masa hacía referencia a cuestiones estructurales, y el espacio a términos místicos. La Masa, ese elemento estructural tenía el objetivo de dejar pasar a través de ella la luz natural, permitiendo que esta revelara la condición natural de la materia. La luz natural en la obra de Kahn consiste en la búsqueda de la naturaleza de la luz. Una luz capaz de dotar al espacio de una naturalidad que solo esa luz puede generar.

Para Kahn la elección del elemento estructural debe estar relacionada con el carácter de la iluminación que se pretende para cada espacio.

Uno de los edificios más destacados de la obra de Louis Kahn, es el *Kimbell Art Museum en Forth Worth, Texas* (Fig. 4.), donde los interiores se definieron como una sucesión de espacio donde se integraba la iluminación y la estructura como un único sistema.

⁵ Louis L. Kahn. *Escritos, conferencias y entrevistas*. 2003-editado por Latour, Alessandra. 147.

Kahn nos presenta una luz que expresa su naturalidad y que inunda un espacio con su presencia. Esta naturalidad que vemos en la obra de Kahn está reforzada por la armonía que crea entre la estructura y la iluminación. De esta forma, el espacio obtiene ese significado místico que comentábamos, que viene dado por su materialidad la cual es revelada por la luz.



Fig. 4. a. Espacio interior del Kimbell Art Museum. b. Sistema que integra la estructura y la iluminación.

ii. Alvar Aalto

La luz natural que proyecta Alvar Aalto en sus obras está totalmente ligada con la naturaleza. Para Aalto, el objetivo del arquitecto es armonizar la vida humana y el material.

“De cualquier modo el arquitecto tiene una tarea obvia: estamos aquí para humanizar la naturaleza física de los materiales”⁶.

La importancia del tratamiento de la luz natural fue una constante en su trayectoria proyectual. Estudió de manera meticulosa las propiedades físicas de la luz, para evitar la fatiga del ojo del espectador.

En el interior de sus edificios empleaba una iluminación muy particular propia de la luz nórdica, la fragmentación de la luz filtrada por las nubes. Aalto utiliza la luz como un elemento que debe conducirse a través de la penumbra, para después alcanzar la claridad. En sus obras alterna las zonas luminosas con las oscuras, produciendo una variedad de espacios que se caracterizan por la luz que llega de diversas direcciones y que es filtrada por la naturaleza circundante.

En el proyecto de la Villa Mairea, Aalto realiza una abstracción del bosque típico finlandés, donde la luz se filtra a través de unos elementos verticales que asemejan los troncos y ramas propios de un bosque (Fig. 5.). Además, la luz natural choca con el techo de madera creando un ambiente cálido por toda la

⁶ Alvar Aalto
<https://www.cosasdearquitectos.com/2011/05/tarea-obvia-del-arquitecto/>

villa. El blanco exterior entra a través de las paredes pintadas de blanco creando así un contraste armonioso con la madera.

En su obra no solo la luz natural tiene gran relevancia, sino que el color también adopta un papel fundamental en el proceso. El color en su obra es el color de la naturaleza. Ayudándose de la reflexión de la luz sobre la madera, o sobre las paredes blancas teñidas por el cielo o el bosque de azul o verde respectivamente, proporciona al espacio un ambiente con un colorido suave que pertenece y complementa a la luz. Se trata, por tanto, de un colorido natural, ni artificial ni escenográfico.



Fig. 5. Imágenes interior y exterior de la Villa Mairea. La luz filtrada y el contraste entre la madera y el color blanco.

iii. Tadao Ando

El manejo que Tadao Ando emplea en su arquitectura está muy influenciado por la arquitectura tradicional japonesa, la cual se caracteriza por la importancia que se le da tanto a la sombra como a la penumbra como elemento de transición entre el interior y el exterior.

Para Ando existen tres pilares necesarios en la arquitectura. El primero es el material, un material auténtico; el segundo es la geometría pura, que describe la base estructural del espacio arquitectónico; y por último está la naturaleza, que se define como una naturaleza artificial, donde el hombre impone el orden que se abstrae de la naturaleza en sí misma.

La arquitectura que plantea Ando, consiste en la construcción de un espacio o lugar que sirva como base para el resto de los espacios, donde el interior y el exterior forman un lugar continuo. Ando logra con la geometría del espacio formar tanto la estructura global como la particular propia de un mismo edificio, utilizando la luz de manera diferente otorgando a cada espacio una expresión particular.

En su obra, la luz contribuye a generar un conjunto donde los espacios se despliegan gradualmente mediante espacios de transición, creando así, una relación entre dichos espacios y la luz que influye en la creación de las transiciones.

El objetivo de la arquitectura de Tadao Ando, es lograr una arquitectura capaz de generar una experiencia que emocione al espectador. Consiste por lo tanto en una arquitectura que debe ser experimentada. En esta búsqueda de la emoción, la luz natural juega un papel fundamental debido a que su presencia evoca una condición natural con la que el espectador se identifica.

En los proyectos de Ando predomina una luz tenue, que recuerda la luz que atraviesa un Shoji japonés. La calma generada por la luz difusa se ve interrumpida por haces de luz directa que al interceder con las superficies crean contrapuntos de luz que dinamizan y transforman el espacio (Fig. 6.). En la obra de Tadao Ando, la sombra tiene un papel tan importante como la luz.



Fig. 6. Imágenes del interior de la Casa Koshino, 1980-1984.

iv. Alberto Campo Baeza

Alberto Campo Baeza propone una arquitectura donde coexisten la Luz, la Idea y el Espacio. La Idea se ve desmaterializada en los espacios que son animados por la luz. La luz corresponde con el elemento fundamental en su arquitectura, una luz que es capaz de conmover al ser humano que habita en ese espacio.

La luz que Campo Baeza emplea en su obra, es una luz de movimiento, una luz que atraviesa los distintos espacios que organizan un edificio produciendo que estos cobren vida permitiendo así un dialogo entre la luz y el espectador.

Campo Baeza utiliza geometrías claras que dejan pasar la luz sin perturbar su presencia. En aquellos lugares donde la geometría desaparece, aparece la luz que inunda el espacio, por lo que las aberturas por donde ingresa la luz vienen dadas por la ausencia de la geometría.

Para este arquitecto, el color blanco juega un papel importante en su obra debido a que lo considera como símbolo permanente, eterno. El color se convierte por tanto en una base firme y segura mediante la cual es posible resolver los distintos problemas de luz en el espacio, ya sea para reflejarla, hacer que incida o que la luz resbale.

En su arquitectura, se presentan dos realidades inevitables: La luz y la gravedad. En el momento en el que la luz supera a la gravedad, esta crea la sensación de

que el espacio levita, produciendo una ingravidez capaz de desmaterializar la forma.

Como podemos observar en la Casa Asencio, Campo Baeza plantea una clasificación de la luz dividida en dos partes. Una primera parte que corresponde con la dirección de la luz, y que a su vez se subdivide en luz horizontal, luz vertical y luz diagonal. Y una segunda parte según la cualidad de la luz, diferenciándose entre luz difusa y luz sólida.



Fig. 7. Imágenes del interior y exterior de la Casa Asencio, 1999-2001.

3.4. Características de la iluminación natural

Como bien se mencionaba anteriormente la luz solar es una fuente luminosa que no puede ser transformada por el hombre. Sin embargo, mediante un conocimiento de algunos aspectos como la **fuente de luz natural**, el **clima luminoso** y el **entorno luminoso**, nos permiten realizar un correcto diseño del espacio para un máximo aprovechamiento de iluminación natural.

Por lo tanto, las características de la iluminación natural dependen de los siguientes aspectos:

▪ Fuentes de luz natural

Esta característica se refiere al rayo solar que entra en un espacio interior ya sea por aberturas en los paramentos verticales u horizontales de dicho espacio. Las características de esta luz varían de forma constante a lo largo del año.

Si se considera que una ventana tiene un visual hemisférica del entorno, en el espacio anexo a esta se pueden distinguir tres componentes de la luz natural:

- El haz directo procedente del sol (CSD)
- La luz natural difundida en la atmosfera (CSdf)
- La luz procedente de reflexiones:
 - Luz reflejada en obstáculos (CRO)
 - Luz reflejada en el terreno adyacente (CRT)

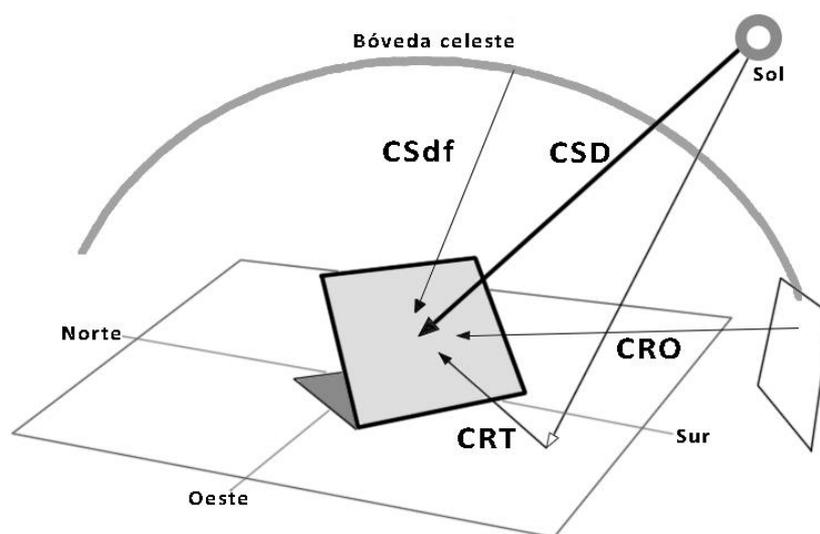


Fig. 8. Tipos de fuentes de luz natural.

- El **haz directo de luz** (CSD) depende de la posición del sol sobre la bóveda celeste, por lo que la luz depende de la traslación y la rotación de la tierra.

Los factores que determinan la dirección por la cual percibimos los rayos de sol dependen de la ubicación de la edificación (longitud y latitud), de la posición de la tierra orbitando alrededor del sol y la hora del día, que viene definida por la rotación de la tierra. La iluminancia del haz directo varía entre los 0 y 100.000 lux.

- La **luz natural difundida en la atmósfera** (CSdf) o luz del cielo es la luz, que parte de la luz directa procede de la bóveda celeste. Es una luz difusa generada por la reflexión de la luz solar a través la atmósfera. En condiciones de cielo nublado, dicha luz se refleja en todas las direcciones de forma uniforme.

Debido a que esta luz del cielo es una fuente de luz que no describe una dirección, una de las formas para estimar su iluminancia es mediante las distribuciones de luminancias. Este método calcula y determina valores de luminancia en tres casos distintos mediante datos extraídos durante años (Fig. 9.).

Pese a que la iluminancia procedente de la luz del cielo es muy inferior a la del sol (5.000-20.000 lux), es la luz natural preferible para el proyecto arquitectónico.



Fig. 9. Representación de diferentes tipos de distribución de luminancias en el cielo.

- La luz procedente de las reflexiones o luz indirecta es aquella que viene determinada por la reflexión de la luz en los objetos y superficies adyacentes al edificio propuesto. Por lo que la luz puede variar con el tiempo y vida útil de la edificación.
 - La **luz reflejada en obstáculos** (CRO) se refiere a la luz que reflejan los objetos o edificios que se encuentran por encima de la línea de horizonte considerándola desde una ventana. Depende del coeficiente de reflexión de los obstáculos verticales y de si estos se encuentran en situación de sol o sombra.
 - La **luz reflejada en el terreno adyacente** (CRT) se define como la luz reflejada de las superficies externas del entorno que están por debajo de la línea de horizonte. El grado de intensidad depende de su coeficiente de reflexión, así como de la radiación que reciba.

▪ **Clima luminoso**

Como mencionábamos anteriormente, las características de iluminación dependen en gran medida de la ubicación geográfica de la edificación. Esto se debe a que el ángulo en el que incide el sol influye en la iluminancia y la incidencia del haz directo de luz.

El clima luminoso de un punto geográfico se describe con los valores estadísticos de luminosidad a lo largo de un día, teniendo en cuenta la latitud y la estación del año en que se encuentre, y considerando también los datos de los días nublados.

▪ **Entorno luminoso**

El entorno luminoso se define como la configuración de los elementos arquitectónicos para favorecer la penetración de luz natural al interior de

un espacio. Estos elementos arquitectónicos son las aberturas, y deben tomarse en suma consideración a la hora del diseño inicial del espacio.

Estas aberturas deben diseñarse teniendo en cuenta por un lado una correcta inclinación y orientación de la abertura y por otro lado las características básicas de la abertura: tamaño, forma y materialidad.

Las cualidades de la iluminación de un mismo espacio pueden cambiar dependiendo de las características de la iluminación empleadas en el diseño de dicho espacio.

A continuación, se mencionan las características que pueden influir en la iluminación de un espacio:

- La **Posición de la abertura** determina la iluminancia recibida en un espacio. La iluminancia puede variar dependiendo del tamaño y de la posición relativa de la abertura en la edificación. Por una parte, la superficie del hueco influye en la cantidad de flujo luminoso que ingresa en el espacio, el cual como mencionábamos anteriormente puede entrar de forma directa o por reflexiones. Por otra parte, la posición relativa de la abertura puede condicionar la cantidad de iluminancia del espacio. Puede darse el caso de que aberturas del mismo tamaño, pero en diferente posición, tengan iluminancias diferentes. Esto se debe a la posibilidad de ver más o menos cielo en alguna de las aberturas. A su vez, una abertura situada sobre el plano de trabajo tendrá una mayor iluminancia que una situada en la pared (Fig. 10.).
- La **inclinación y orientación** de la abertura son factores que determinan el ángulo de lo que puede ser percibido del exterior desde el interior.
- La **materialidad y forma** de la abertura determinan la cantidad y cualidad de la luz que entra en el espacio. En cuanto a la forma de la abertura, la iluminancia del interior varía en relación con la posición, forma y tamaño de la abertura (Fig. 11.). En el caso de una abertura continua, la distribución de luz se hará de forma homogénea, sin embargo, con varias aberturas más pequeñas la iluminación será menos uniforme, creando contrastes entre ellas.

Los materiales de una abertura conforman la estructura de esta al igual que la superficie transparente, la cual es la característica más importante en la iluminación. Para las superficies claras, los rayos luminosos no se verán afectados en cuanto al ángulo sólido y la cantidad de iluminancia. Mientras que, para superficies traslucidas, los rayos se dispersan y se reduce el flujo luminoso que entra.

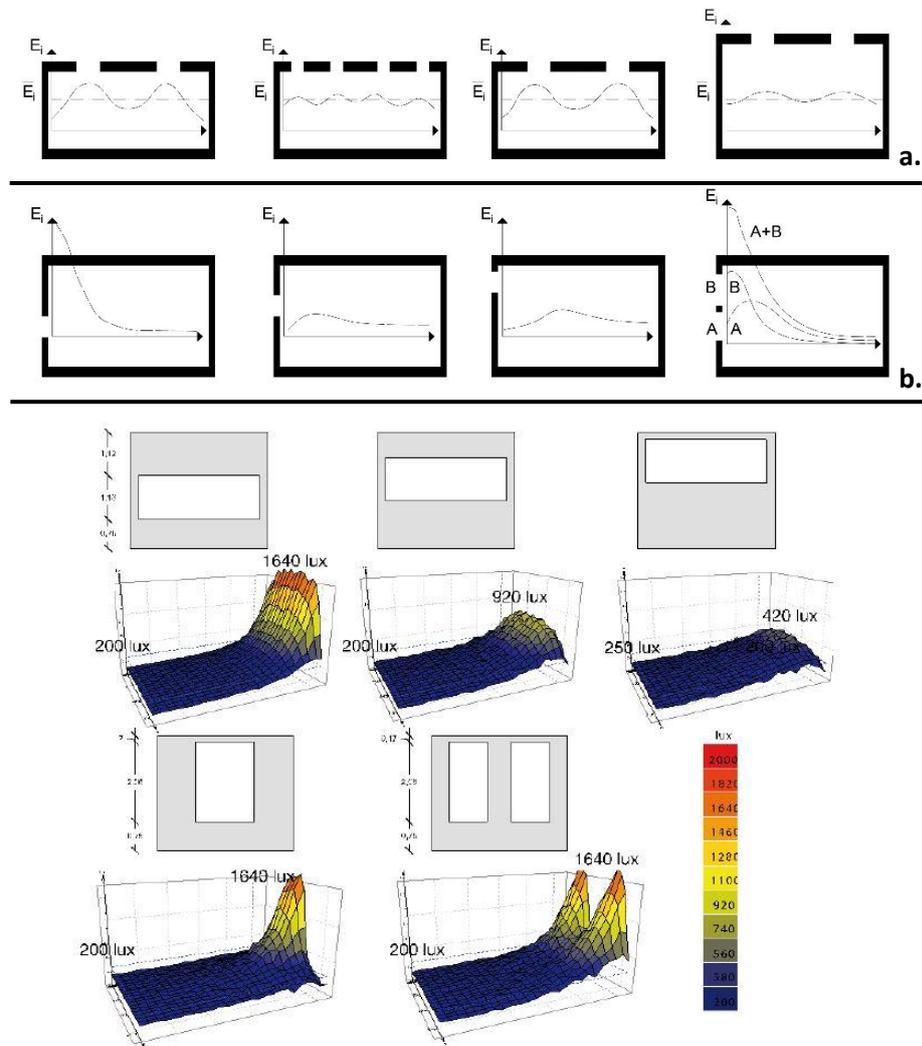


Fig. 10. (superior) *a.* Distribución de la iluminancia con aberturas sobre el plano de trabajo; *b.* Distribución de la iluminancia con aberturas en la pared.

Fig. 11. (inferior) Distribución luminosa de diferentes tipos de aberturas, en este caso ventanas.

- Las **superficies interiores** caracterizadas por su color, material y textura influyen directamente en la reflexión y en la distribución de la luz en el espacio interior. La capacidad de reflexión de una superficie se mide con el coeficiente de reflexión, es decir, la reflectancia del material. Existen tres variables que describen los grados de reflexión más comunes (Fig. 12.):
 - Reflexión difusa: los rayos de luz se reflejan en todas las direcciones de forma homogénea. Esta reflexión es característica de superficies granulares, como el ladrillo.
 - reflexión especular: el rayo se refleja con el mismo ángulo respecto a la normal de la superficie. Esta reflexión solo se da en unos pocos casos, como en espejos, superficies y metales pulidos.
 - Reflexión dispersa o mixta: es la combinación de las reflexiones difusa y especular. Es el tipo de reflexión que se observa en la mayoría de los materiales

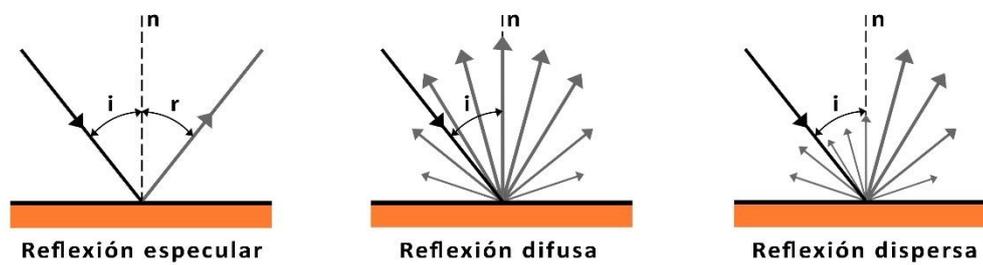


Fig. 12. Tipos de reflexión.

4. COMPORTAMIENTO DE LA LUZ EN UN ESPACIO INTERIOR

Fuller Moore en su libro *“Concepts and Practices of Architectural Daylighting (1985)”* plantea un esquema de un análisis lumínico simple, en el cual determina la posición de una fuente de iluminación por donde entran los rayos lumínicos, un punto de análisis en el interior del espacio y la trayectoria entre ambos (Fig. 13. a.).

Sin embargo, este esquema no explica la complejidad real del fenómeno lumínico. Esto se debe a que también se deberían considerar la luz del cielo, la luz reflejada del entorno y la luz reflejada de los materiales que conforman el espacio (Fig. 13. b.).

Para entender esta complejidad, se genera un modelo de análisis mediante el cual se considera la iluminación como “una función de áreas brillantes que pueden ser vistas desde el punto de análisis”⁷. El modelo no establece ninguna diferencia entre las distintas fuentes de iluminación, debido a que un cielo nublado a través de una abertura puede aportar la misma cantidad de luz al punto objetivo, que una superficie reflectante del interior del espacio, siempre que ambos compartan la misma luminancia, temperatura de color y tamaño aparente. Por lo tanto, todas las superficies, ya sean reflectores difusores o reflectores traslucidos, son fuentes de iluminación (Fig. 13. c.).

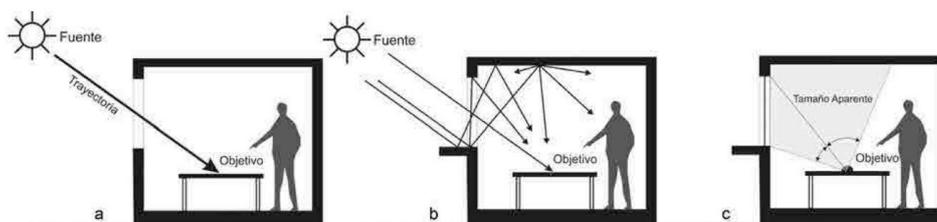


Fig. 13. a. Esquema de análisis lumínico simple. b. Esquema de análisis lumínico complejo. c. Esquema de visibilidad del objetivo.

Desde el punto de vista de M. David Egan y Víctor Olgyay⁸, proponen cinco estrategias para la buena práctica de iluminación en interiores mediante un uso eficiente de la luz solar (Fig. 14.).

1. Elementos de sombreado que evitan el deslumbramiento y el incremento de calor excesivo.
2. Utilizar elementos que reflejan la luz para redireccionar el rayo del sol y conseguir una mejor distribución de luminancias e iluminancias.
3. Controlar la cantidad de luz que entra en el espacio.
4. Seleccionar unos materiales adecuados para las distintas superficies con el objetivo de trasladar la luz a todo el espacio.
5. Integrar elementos arquitectónicos complementarios que favorezcan el correcto funcionamiento de las aberturas.

⁷ Edgar Alonso Menses Bedoya. *La representación de la luz natural en el proyecto arquitectónico*. Escuela Técnica superior de Arquitectura de Barcelona, 2015. 48

⁸ M. David Egan y Víctor Olgyay. *Architectural Lighting*. 2001.

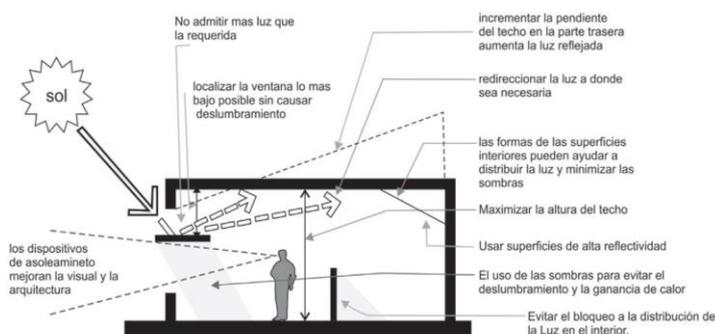


Fig. 14. Estrategias para el uso eficiente de la luz solar.

Sin embargo, según la *Guía Técnica para el Aprovechamiento de la luz natural de edificios*⁹, plantea que, para una buena práctica de iluminación del espacio, es fundamental que se satisfagan los niveles de iluminación, así como las necesidades visuales, permitiendo que las personas puedan realizar sus tareas, incluso en circunstancias difíciles y durante periodos más largos. Además, cabe añadir el confort visual, garantizando a los usuarios una sensación de bienestar en la realización de sus tareas, contribuyendo también a una sensación de seguridad y propiciando un aumento de la productividad.

A continuación, se comentan brevemente los criterios fundamentales establecidos por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE):

- La distribución de luminancias condiciona el nivel de adaptación del ojo humano, por lo que esto afecta directamente a la visibilidad de la tarea. La distribución de luminancias también afecta al confort visual, pudiendo producir deslumbramientos, fatiga en el espectador y ambientes no estimulantes.
- La iluminancia afecta a la percepción y realización de la tarea visual de una persona de forma segura y confortable evitando la presencia de contrastes. Los valores de iluminancia que satisfacen las necesidades comentadas se encuentran en la norma UNE EN 12464-1. El espacio de la tarea debe estar iluminado tan uniformemente como sea posible.
- El deslumbramiento se define como “la sensación producida por áreas brillantes dentro del campo de visión”¹⁰. Es importante prevenir el deslumbramiento para evitar la fatiga visual y condiciones donde no se puedan realizar la tarea específica.
- La iluminación direccional o modelado: es la relación entre la luz difusa y la luz dirigida dentro de un espacio. El modelado es un criterio valido para la calidad de iluminación de un interior. En el caso de tener una iluminación muy direccional se producirán sombras y contrastes fuertes afectando al confort del espacio. Tampoco debe ser demasiado difusa pues se pierde el equilibrio.

⁹ CIE. *Guía Técnica. Aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios*. IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2005. 25-31

¹⁰ IDAE. *Guía técnica para el aprovechamiento de la luz natural*. 28

- Color en el espacio visual: el elemento emisor de la luz esta caracterizado por la apariencia de color de la fuente, así como su capacidad para reproducir colores. La capacidad de reproducir colores está relacionada con la iluminancia y con el color de la luz. A pesar de que no se puede modificar la apariencia de color de la luz natural, hay que prestar atención a la reflexión de dicha luz sobre una superficie de color, la cual puede modificar su apariencia.

5. CRITERIOS DEL DISEÑO CON LA LUZ NATURAL

Con lo comentado anteriormente se puede concluir que, para el aprovechamiento de la luz natural en un interior, cabe tener conocimientos previos en cuanto a las propiedades físicas de la luz, tener la capacidad de realizar un estudio sobre la orientación y localización de un edificio y saber reconocer la abertura más adecuada para cada caso, así como su materialidad.

A continuación, se comentarán de forma resumida los criterios del diseño de la luz natural según el IDAE, que afectan directamente al contenido de este trabajo.

Para la elaboración de un correcto diseño, es necesario la resolución de las siguientes premisas:

- Tener en consideración el rayo solar directo
- La iluminación debe ser capaz de definir la situación de una persona en el espacio
- El proceso de diseño de iluminación debe tenerse en cuenta desde el inicio del proyecto
- Las propiedades de la iluminación deben reforzar el objetivo del diseño del espacio arquitectónico
- Se debe crear una atmosfera que satisfaga las necesidades de las personas, así como la comunicación entre estas
- La iluminación debe permitir la percepción del entorno de las personas

El diseño de la luz debe comenzar en la etapa de distribución del lugar de ubicación. La implantación del lugar afecta directamente a la disponibilidad de la luz solar en el interior de un espacio.

5.1. Parámetros de la luz natural

Teniendo en cuenta las características comentadas en el apartado anterior, el diseñador debe tener la capacidad de manejar una serie de parámetros con el objetivo de poder controlar la calidad de la luz que penetra en el interior de la edificación proyectada. Los parámetros más relevantes son los siguientes:

- Con el fin de aprovechar las ventajas e impedir los inconvenientes de la luz natural, se debe realizar una correcta elección de la forma, tamaño, orientación y lugar de la edificación.
- Una correcta selección de la abertura, así como su orientación y su colocación en la fachada, influyen en gran medida para el control de la calidad de la iluminación del espacio.
- Se deben tener en cuenta las reflexiones de las superficies exteriores de los objetos y/o edificaciones que se encuentren alrededor del edificio proyectado.
- Las reflexiones de las superficies de suelo alrededor del edificio también deben tenerse en cuenta debido a que contribuyen de manera notable en los días de cielo descubierto para la iluminación del espacio.

5.2. Sistemas de iluminación natural

Se consideran sistemas de iluminación natural a aquellos componentes arquitectónicos cuyo objetivo es el de iluminar un espacio con luz natural. La cantidad y calidad de la iluminación natural interior dependerá del funcionamiento común de los diferentes sistemas empleados, de su localización en el edificio y de las superficies reflectantes interiores y exteriores.

En arquitectura se diferencian tres tipos de sistemas de iluminación natural: lateral, cenital y combinada.

- En el caso de la iluminación lateral, la luz penetra en el espacio desde una abertura situada en un muro lateral del edificio. Debido a esta característica, cuanto más cerca de la abertura se encuentre el área de trabajo mayor nivel de iluminación habrá. De tal forma que a medida que nos alejamos de la abertura, la iluminación directa disminuirá y la cantidad de iluminación reflejada y difusa aumentará (Fig. 15. a).
- Se entiende como iluminación cenital a la luz que se recibe principalmente desde el techo o cualquier superficie que se encuentre en un punto superior. Este tipo de iluminación es frecuente para aquellos lugares donde predominan los cielos cubiertos debido a su gran potencial a la hora de iluminar un espacio con calidad y cantidad (Fig. 15. b).
- La iluminación combinada es aquella que utiliza tanto la iluminación lateral como la cenital como un único sistema para la iluminación del espacio (Fig. 15. c).



Fig. 15. Sistemas de iluminación natural.

En cuanto a la iluminación lateral de un espacio, se establece un límite por el cual el espacio puede estar iluminado de manera satisfactoria durante el día. Existe un límite básico que establece que la profundidad de la luz natural es 1'5 veces la altura (d) de la ventana con relación al suelo (Fig. 16. a). La profundidad de la luz puede verse incrementada mediante la colocación de elementos intermedios o jugando con la forma, el tamaño y la posición de la abertura (Fig. 16. b). Mientras más elevada se encuentre la abertura con relación a la fachada, más efectiva será la penetración luz en el espacio.



Fig. 16. a. Profundidad de la luz natural.

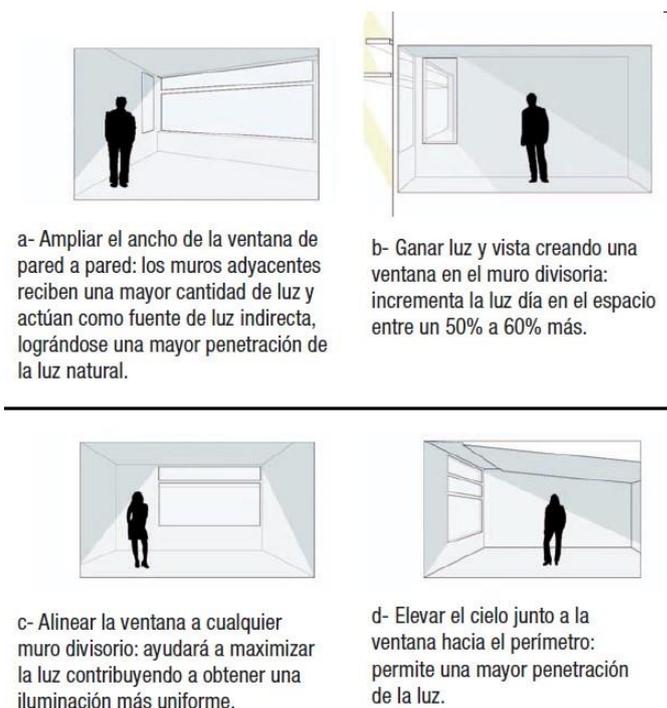


Fig. 16. b. Claves del diseño de las aberturas para la obtención de un mayor beneficio de la luz natural.

5.3. Tipos de aberturas

La luz natural en un espacio puede penetrar de forma directa o indirecta. La luz directa puede generar posibles riesgos de deslumbramiento y repartición de luz es muy irregular debido a las propiedades de la luz natural. Sin embargo, la distribución luminosa de la luz indirecta es uniforme y genera una protección frente al deslumbramiento. Existen diversos tipos de aberturas que permiten la repartición luminosa, ya sea de forma directa o indirecta, hacia otros lugares de la edificación. A continuación, se mencionan algunos de ellos:

- Patio: se define como un espacio encerrado entre las paredes de un edificio y está abierto normalmente en la parte superior
- Atrio: espacio cerrado en sus laterales, con un elemento transparente o translucido en la cubierta.
- Conducto de luz: elemento capaz de conducir la luz natural a aquellos lugares que no están unidos al exterior.
- Muro cortina: Es un elemento vertical no estructural que separa de forma continua el interior del exterior. Puede ser transparente o translucido.
- Claraboya: se define como una abertura ya sea inclinada u horizontal sobre la cubierta de un edificio.
- Techo translucido: abertura horizontal construida con materiales translucidos.
- Membrana: superficie transparente o translucida que envuelve a un edificio.

- **Ventana:** es el elemento más utilizado en la edificación, puesto que tiene varias funciones, como la entrada de luz natural, la relación con el exterior y la ventilación entre otras. La ventana también tiene un gran impacto en la eficiencia energética del edificio.

Desde el punto de vista del ingreso de luz natural, es mejor situar la ventana en una posición alta y con una dimensión adecuada. En cuanto a la relación con el exterior, la ventana debe satisfacer la necesidad de las personas de estar en contacto con la naturaleza, aunque manteniendo en todo momento cierta privacidad con el exterior. Por último, la tercera misión de una ventana es la relacionada con las necesidades caloríficas, de refrigeración y ventilación del espacio. En esta última es más importante la posición de la ventana que su tamaño.

En la práctica estas tres funciones se combinan, sin embargo, la entrada de luz y las condiciones térmicas entra en conflicto. Con una mayor superficie de ventana, se aporta mayor luz natural, pero también son mayores las pérdidas y ganancias de calor.

Por lo tanto, para un diseño adecuado para una ventana cabe comprender las siguientes cuestiones:

- Hay que seleccionar un correcto **porcentaje de acristalamiento** con respecto al espacio interior. Si el acristalamiento es muy elevado puede provocar problemas en el control térmico y deslumbramientos. Mientras que, si es demasiado bajo, los niveles de iluminación pueden ser demasiado bajos.
- La importancia de una adecuada relación entre altura y anchura de la ventana, es decir de la **forma de la ventana**. La forma de la ventana influye directamente en la calidad de visión, la distribución de la luz y la ventilación. Con ventanas horizontales hay una distribución uniforme a lo largo del día con poco deslumbramiento. Mientras que, con ventanas verticales, hay una distribución más variable y un mayor deslumbramiento.
- La **posición de la ventana** es otro factor a tener en cuenta. Cuanto más elevada este la ventana mayor será la profundidad a la que penetre al interior. La altura inferior de la ventana determina la vista exterior. Una ventana ubicada centralmente, produce una mayor distribución, mientras que una en esquina tendrá menor deslumbramiento.

- La **orientación de la ventana** también tiene una gran influencia sobre la iluminación natural. Las ventanas orientadas al sur tienen niveles de iluminación elevados y casi constantes a lo largo del día; las orientadas al este y al oeste tendrán niveles medios y variables durante el transcurso del día; y las orientadas al norte proporcionan niveles bajos pero constantes.

Por último, en el *Anexo I*, se resaltan algunos componentes para el control de la cantidad y distribución de iluminación natural que ingresa a un espacio.

6. METODOS DE CÁLCULO DE LA ILUMINACION NATURAL

Mediante un correcto diseño de la edificación, la iluminación natural puede contribuir en gran medida en las necesidades de iluminación del edificio. Por lo tanto, las aberturas proyectadas deben dimensionarse con la superficie necesaria para favorecer la iluminación natural a lo largo del año. De esta forma, para poder calcular la cantidad de luz natural que un espacio recibe, se deben tener en cuenta como se comentaba anteriormente, las propiedades físicas del entorno y del propio edificio, así como las condiciones climáticas propias de cada localización geográfica.

Desde el punto de vista de la Normativa Europea EN-17037: Iluminación Natural en los edificios, establece que “un espacio proporciona una iluminación adecuada si se alcanza el nivel de iluminancia objetivo en una fracción del plano de referencia dentro de un espacio durante al menos la mitad de las horas de luz”¹¹.

Además, en el caso de usar aberturas verticales, existe un nivel de iluminancia mínimo que debe alcanzarse en el plano de referencia, el cual se sitúa a 0,85 m sobre el nivel del suelo.

Según la norma, existen tres niveles de iluminación: mínimo, medio y alto, y por lo menos la iluminación natural debe satisfacer el nivel mínimo recomendado. Como puede verse en la Figura 17, el nivel mínimo de iluminación tiene como objetivo mínimo de iluminancia (E_{TM}) recomendada 100 lx, y esta debe darse en al menos el 95% de la superficie total del espacio a iluminar durante el 50% de las horas de luz al día. Y en este caso el objetivo de iluminancia es de 300 lx, el cual debe darse en al menos el 50 % de la superficie del espacio iluminado.

Nivel de recomendación para abertura de luz vertical e inclinada	Objetivo de iluminancia E_T lx	Fración del espacio para el objetivo de nivel $F_{plane,\%}$	Objetivo de iluminancia mínima E_{TM} lx	Fración del espacio para el objetivo de nivel mínimo $F_{plane,\%}$	Fración de horas de luz $F_{time,\%}$
Mínimo	300	50%	100	95%	50%
Medio	500	50%	300	95%	50%
Alto	750	50%	500	95%	50%

Fig. 17. Recomendaciones de cantidad de iluminación.

A la hora de poder estimar la cantidad de iluminación natural en el interior de un espacio, la norma establece dos métodos de cálculo: el método del factor de iluminación natural y el método de niveles de iluminancia.

Para este trabajo se ha elegido el método basado en el Factor de iluminación natural (D), debido a que es el método más utilizado a la hora de realizar unos cálculos básicos de iluminación dada su simplicidad. Esta simplicidad se debe a que el método asume una relación permanente entre la iluminancia exterior e interior. Además, el método de cálculo no tiene en cuenta la ubicación, orientación y época del año en la que se encuentra el edificio dado que se calcula en condiciones de cielo cubierto marcado por la CIE, el cual tiene una distribución de luminancia uniforme.

¹¹ Norma Europea EN-17037: *Iluminación Natural en los edificios*. 13

A la hora de realizar los cálculos por el método del Fin, la norma establece un rango de valores recomendados para las reflexiones de las superficies: paredes de 0,5 a 0,8; techos de 0,7 a 0,9; suelo de 0,2 a 0,4; con suelos exteriores de 0,2.

Una vez los cálculos están realizados se debe comprobar que, al menos en la superficie requerida, los factores de iluminación igualen o superen a los valores objetivo D_T y D_{TM} , que se establecen en la tabla A.3 de la norma. A continuación, se muestra una parte recortada de dicha tabla.

Nación	Capital ^a	Latitud geográfica φ [°]	Mediana de la iluminancia difusa externa $E_{v,d,med}$	D para exceder 100 lx	D para exceder 300 lx	D para exceder 500 lx	D para exceder 700 lx
Chipre	Nicosia	34,88	18 100	0,6%	1,7%	2,8%	4,1%
Malta	Valetta	35,54	16 500	0,6%	1,8%	3,0%	4,5%
Grecia	Atenas	37,90	19 400	0,5%	1,5%	2,6%	3,9%
Portugal	Lisboa	38,73	18 220	0,5%	1,6%	2,7%	4,1%

Fig. 18. Valores de D para aberturas de luz para exceder el nivel de iluminancia de 100, 300, 500 o 750 lx.

Donde D_T corresponde con el valor del D objetivo relacionado con la iluminancia dada para el 50% de la superficie del suelo en al menos la mitad de las horas de luz al día. Siendo D_{TM} por tanto, el valor de D objetivo mínimo relacionado con la iluminancia dada para el 95% de la superficie del suelo en el 50% de las horas de luz. Estos porcentajes se obtienen a través de la siguiente formula:

$$D = \frac{\text{Nivel de iluminancia}}{E_{v,d,med}}$$

donde $E_{v,d,med}$ es la mediana de la iluminancia difusa externa, la cual es única para cada contexto geográfico. Por lo tanto, a la hora de comprobar los resultados se pueden diferenciar y comparar unas ciudades con otras.

De forma que se entienda mejor el cálculo del D se va a coger de ejemplo una habitación con unas dimensiones de 3m x 6m 2.5 m, y unas reflectancias de las superficies de, suelos de 0.2; techo de 0.8 y paredes de 0.5. Se considera una abertura con una superficie de acristalamiento de 6 m². Dados los anteriores parámetros obtenemos los siguientes resultados:

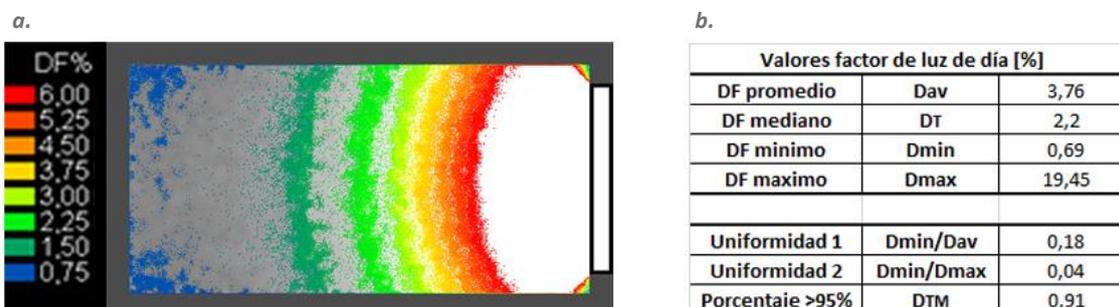


Fig. 19. a. Distribución de D en la habitación. b. Valores de D obtenidos tras el cálculo.

En la figura anterior aparecen diferentes valores de factores de iluminación que se encuentran en la habitación. Estos factores son:

- Factor mínimo, es el valor que se obtiene con el menor nivel de iluminación en un punto de la habitación.
- Factor máximo, es el valor que se obtiene con el mayor nivel de iluminación.
- Factor promedio, es el valor promedio respecto a todos los valores de FIN calculados.
- Factor mediano, es el valor que se encuentra en el centro cuando se ordenan todos los valores de D de menor a mayor. Además, es el valor con el que comprobaremos si alcanzamos el factor de iluminación objetivo D_T .
- Porcentaje de área con un D mínimo, es el porcentaje del área calculada que tiene valores de D por encima de un mínimo predeterminado. Este es el valor que se utilizara para comprobar si se alcanza el factor de iluminación objetivo mínimo D_{TM} .

Las pautas que se han de tener en cuenta son:

- Como mínimo se ha de igualar el porcentaje de factor de iluminación objetivo mínimo (D_{TM}).
- En el caso de que se alcance el D_{TM} pero no se supere el D_T , significará que con esa abertura, para satisfacer aquellas tareas que requieran una iluminancia mínima de 300 lx se deberá complementar la iluminación del espacio con iluminación artificial.
- Si el factor de iluminación promedio es igual o superior al 1% e inferior al 3%, significa que se puede considerar que el espacio está bien iluminado durante el día, sin embargo, para algunas tareas con mayores niveles de iluminancia puede requerirse el uso de iluminación artificial.
- Si el factor de iluminación promedio es igual o superior al 3% e inferior al 5%, significa que hay una buena iluminación suficiente para actividades precisas durante bastantes horas al día.
- Si el factor de iluminación promedio es igual o superior al 5%, significa que la luz eléctrica no será requerida durante el día.
- En el caso de que tras realizar el cálculo no se alcance el porcentaje mínimo del factor de iluminación, se deberá comprobar distintas ubicaciones en la fachada, aumentar la superficie acristalada o utilizar sistemas de iluminación combinados.

Volviendo al ejemplo, y suponiendo que nuestro edificio se encuentra en la ciudad de Oporto en Portugal, utilizaremos los valores establecidos para la capital de este país, en este caso, Lisboa. Como podemos ver en la figura 18, los valores de D_{TM} y D_T de Lisboa son 0.5% y 1.6% respectivamente.

Según los datos obtenidos tras los cálculos, observamos que el valor del factor de iluminación mínimo que se obtiene en el 95% de la superficie del suelo es 0.91 %. Por lo tanto, dado que el valor que establece la norma es menor que el valor obtenido se deduce que para un porcentaje del 0.5% habrá 100 lx para una superficie mayor del 95%. Además, también observamos como el porcentaje del factor de iluminación mediano es 2.20 %, y por tanto mayor que el 1.6% establecido, por lo que también se cumple la iluminancia de 300 lx para el 50% de la superficie del suelo.

Por último, el factor de iluminación promedio es superior al 2%, por lo que dependiendo de la tarea que se realice en ese espacio, la iluminación eléctrica puede ser necesaria o no.

7. CASOS DE ESTUDIO

En este trabajo se investiga mediante el programa de simulación *Velux Daylight Visualizer* el cálculo del factor de luz diurna de una habitación en relación con su profundidad. EL cálculo se realizará para una misma habitación con diferentes aberturas bajo condiciones de cielo cubierto marcadas por el CIE.

Una vez realizado los respectivos cálculos, se comprobarán los valores obtenidos mediante la norma UNE EN-17037 como se comentaba en el apartado anterior para las siguientes ciudades: Valencia, Copenhague, Oslo y Tampere. Los datos obtenidos se compararán con la tabla A.3 de la norma, que aparece en el *Anexo 2*. En esta tabla aparecen los valores del Factor de luz de día (DF) mínimos para exceder el nivel de iluminancia de 100, 300, 500 o 750 lx para una fracción de tiempo de luz de $F_{\text{time, \%}}=50\%$, para las capitales del CEN (Comité Europeo de Normalización). Esto significa que debe cumplirse el porcentaje mínimo del DF para el 95% de la superficie de la habitación para valores de iluminancia de 100 y 300 lx en cada una de las ciudades.

El objetivo de estos cálculos es conocer de antemano algunos resultados de diferentes soluciones de diseño para los diferentes contextos, y que además puedan compararse sus prestaciones. Como referencia del modelo se han utilizado algunas condiciones de la herramienta de diseño para la iluminación natural "*Daylight Design Variations Book*"¹² de Jan Diepens.

El "*Daylight Design Variations Book*" es una herramienta online desarrollada para facilitar el diseño y la elección oportuna de los huecos de luz natural en un local. El objetivo es mostrar un total de 51 aberturas (ventanas, claraboyas, lucernarios, etc.) y su impacto en el local.

Cada modelo de hueco ha sido analizado con los mismos parámetros, los cuales son los siguientes:

- La superficie de la ventana corresponde con el 10% del área del suelo.
- El local es un "despacho típico de oficina" con unas dimensiones de 3,7 x 5,4 x 2,7 m (W x D x H).
- Los coeficientes de reflexión de las superficies son: Paredes = 0.7, Techos = 0.8, y Suelos = 0.2.
- Se supone que todas las superficies son difusoras perfectas.
- Los cálculos se han realizado para un área de trabajo situada a 0.80 m respecto del suelo.
- La distribución de luminancia corresponde con un "cielo cubierto estándar CIE".
- La Luminancia del cenit es de 4.092 cd/m², de tal forma que la luminancia horizontal exterior correspondiente sea $E_{\text{he}} = 10.000$ lux, sin obstrucciones.
- Todos los cálculos y las simulaciones se han hecho con el programa de simulación de iluminación natural *Radiance*.

¹² Herramienta online diseñada por Jan Diepens, donde se pueden comparar diferentes tipos de huecos bajo las mismas condiciones. La herramienta se puede encontrar en el siguiente enlace:
<http://jandiepens.nl/varbook/comp_place.html>

Como ejemplo se ha elegido el modelo A-0 compuesto por una ventana centrada en la fachada (Fig. 20), en el que podemos observar la luminancia del local con la imagen de falso color,

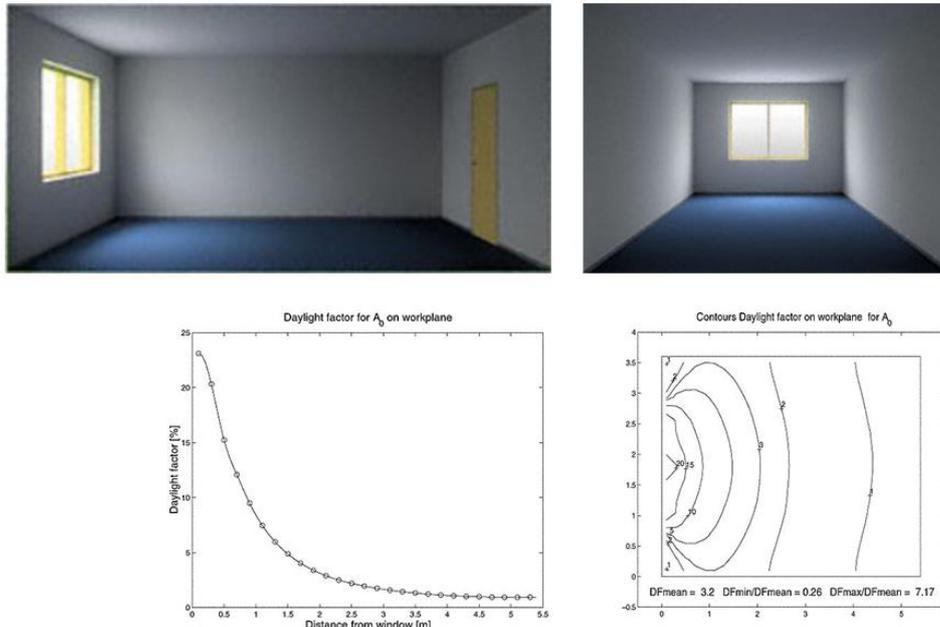


Fig. 20. Modelo A0 del modelo con el Factor de Iluminación Natural.

además de los diagramas del Factor de Iluminación Natural (D) o Daylight Factor (DF), en el área de trabajo.

7.1 Descripción de la pieza

El local es de uso de oficina y tiene unas dimensiones de 3,7 x 5,4 x 2,7 m. En el modelo se considera una superficie de la abertura del 10% de la superficie de suelo de la habitación a excepción de la abertura B3, por lo tanto:

$$S_{\text{habitación}} = 3,7 \times 5,4 = 19,98 \text{ m}^2 \approx 20 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{ventana}} = 0,1 \times 20 = 2,0 \text{ m}^2$$

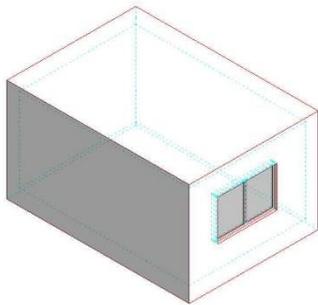
Para un cálculo correcto del Factor de luz de día, se consideran que todas las superficies son difusoras perfectas. La reflectancia de las superficies recomendadas por el CIE está entre los siguientes rangos: paredes de 0,5 a 0,8; techos de 0,7 a 0,9; suelo de 0,2 a 0,4; con suelos exteriores de 0,2. Para este modelo se han usado reflexiones de suelo de 0,2 tanto interior y como exterior, paredes de 0,5 y techos de 0,7.

Todos los cálculos se han realizado para un área de trabajo situada a una altura de 0,85 m sobre el nivel del suelo. En cuanto al acristalamiento, se ha considerado que tiene un 78% de transmitancia.

Debido a que el Factor de luz diurna no tiene en cuenta la localización geográfica ni la orientación de la fachada, se realiza un único calculo común de cada una de las aberturas para todas las ciudades. Por lo que la comparación se hará con los resultados de cada una de estas aberturas.

Por último, el cálculo del Factor de luz se realiza bajo condiciones de cielo cubierto debido a la uniformidad de la luminancia y debido a que estas son las condiciones más desfavorables.

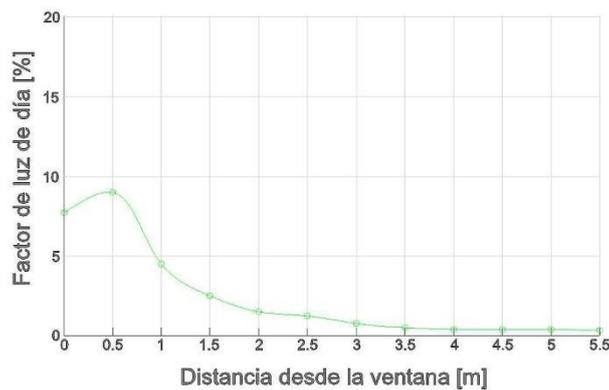
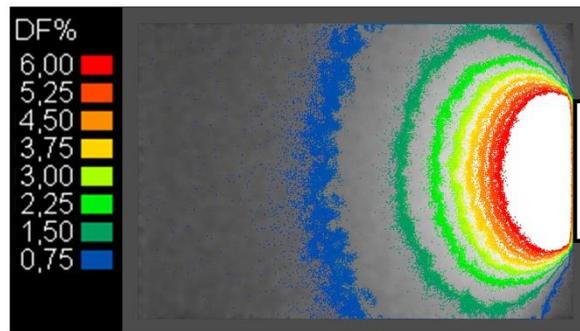
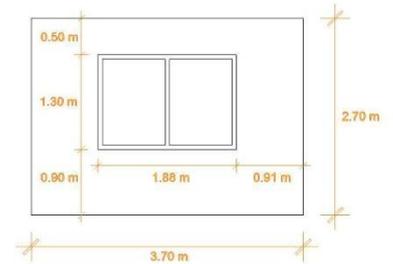
APERTURA A-0_Factor de luz de día



$$S_{\text{máx. ventana}} = 2.0 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{acristalada}} = 0.85 \cdot 1.18 = 1.003 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{acristalada total}} = 1.003 \cdot 2 = 2.006 \approx 2.0 \text{ m}^2$$



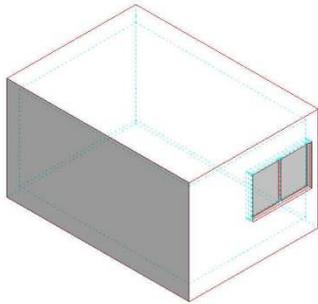
Valores factor de luz de día [%]		
DF medio	Dav	1,72
DF median	Dm	0,93
DF mínimo	Dmin	0,29
DF máximo	Dmax	12,17
Uniformidad 1	Dmin/Dav	0,17
Uniformidad 2	Dmin/Dmax	0,02
Porcentaje >95%	D95	0,4

NORMA UNE EN-17037_Tabla A.3_F _{límite,%} = 50%				
Nación	Capital	Latitud [°]	D >100 lx	D >300 lx
España	Madrid	40,45°	0,8%	1,8%
Dinamarca	Copenhague	55,63°	0,7%	2,1%
Noruega	Oslo	59,90°	0,8%	2,4%
Finlandia	Helsinki	60,32°	0,7%	2,2%

Como se observa en las en las tablas, no se cumplen los porcentajes mínimos recomendados para las iluminancias de 100 lx y 300 lx para ninguna de las ciudades capitales.

COMO LA LUZ CONDICIONA EL ESPACIO
Una comparativa entre los Países Nórdicos y Valencia

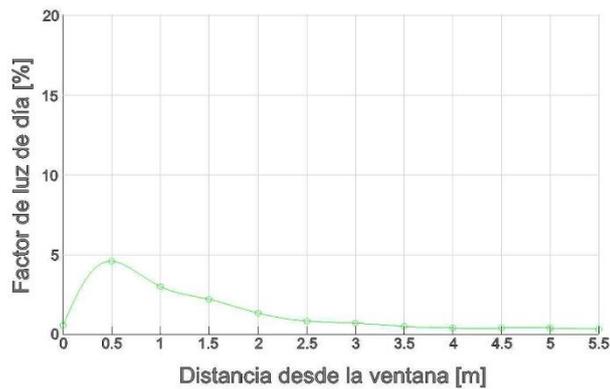
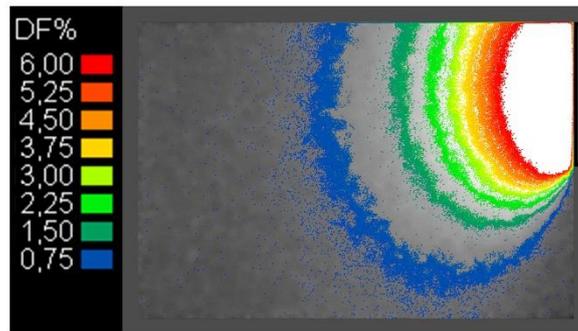
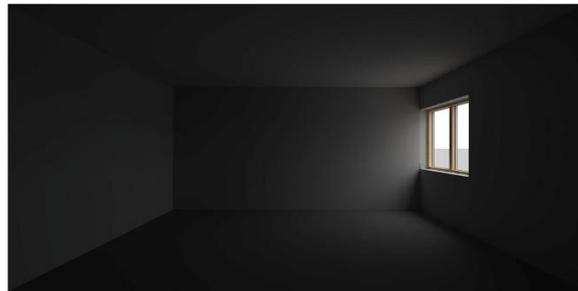
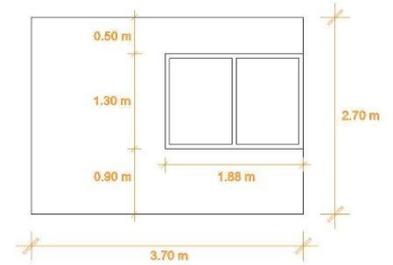
APERTURA A-1_Factor de luz de día



$$S_{\text{máx. ventana}} = 2.0 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{acristalada}} = 0.85 \cdot 1.18 = 1.003 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{acristalada total}} = 1.003 \cdot 2 = 2.006 \approx 2.0 \text{ m}^2$$

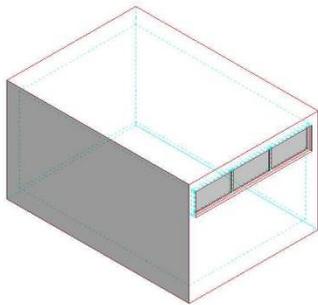


Valores factor de luz de día [%]		
DF medio	Dav	1,43
DF median	Dm	0,76
DF mínimo	Dmin	0,25
DF máximo	Dmax	13,01
Uniformidad 1	Dmin/Dav	0,17
Uniformidad 2	Dmin/Dmax	0,02
Porcentaje >95%	D95	0,36

NORMA UNE EN-17037_Tabla A.3 $F_{\text{ilum, \%}} = 50\%$				
Nación	Capital	Latitud [°]	D >100 lx	D >300 lx
España	Madrid	40,45°	0,8%	1,8%
Dinamarca	Copenhague	55,63°	0,7%	2,1%
Noruega	Oslo	59,90°	0,8%	2,4%
Finlandia	Helsinki	60,32°	0,7%	2,2%

Como se observa en las en las tablas, no se cumplen los porcentajes mínimos recomendados para las iluminancias de 100 lx y 300 lx para ninguna de las ciudades capitales.

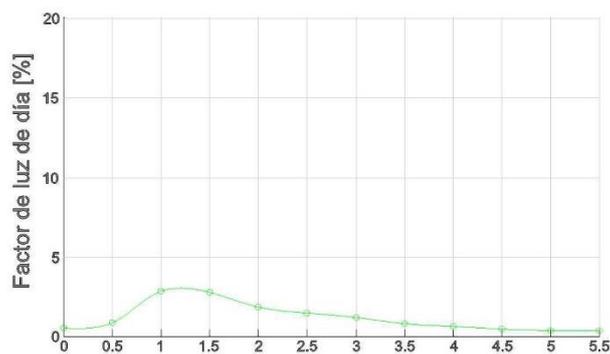
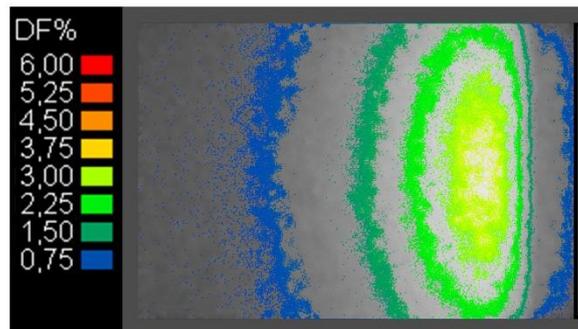
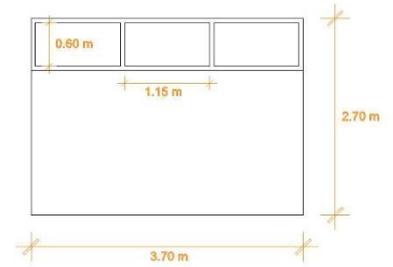
APERTURA A-2_Factor de luz de día



$$S_{\text{máx. ventana}} = 2.0 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{acristalada}} = 1.15 \cdot 0.6 = 0.69 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{acristalada total}} = 0.69 \cdot 3 = 2.07 \approx 2.0 \text{ m}^2$$

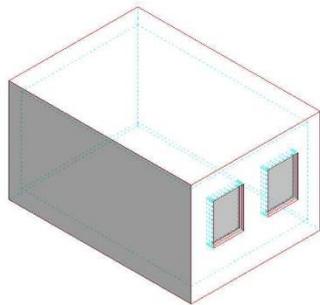


Valores factor de luz de día [%]		
DF medio	Dav	1,56
DF median	Dm	1,33
DF mínimo	Dmin	0,39
DF máximo	Dmax	4,06
Uniformidad 1	Dmin/Dav	0,25
Uniformidad 2	Dmin/Dmax	0,1
Porcentaje >95%	D95	0,53

NORMA UNE EN-17037_Tabla A.3_ $F_{\text{ilum, \%}} = 50\%$				
Nación	Capital	Latitud [°]	D >100 lx	D >300 lx
España	Madrid	40,45°	0,8%	1,8%
Dinamarca	Copenhague	55,63°	0,7%	2,1%
Noruega	Oslo	59,90°	0,8%	2,4%
Finlandia	Helsinki	60,32°	0,7%	2,2%

Como se observa en las en las tablas, no se cumplen los porcentajes mínimos recomendados para las iluminancias de 100 lx y 300 lx para ninguna de las ciudades capitales.

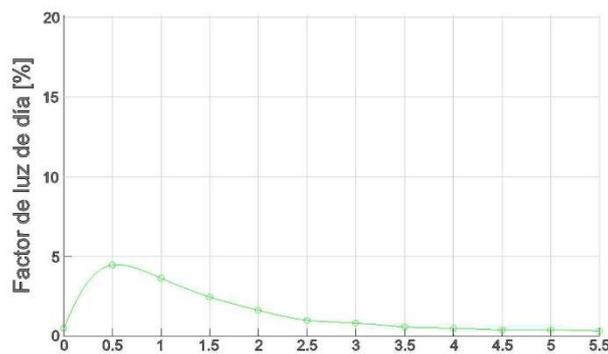
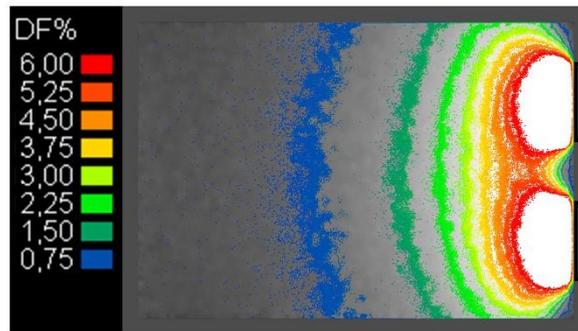
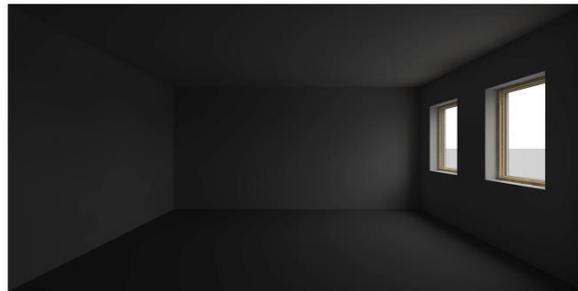
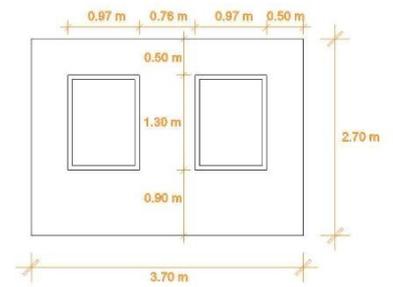
APERTURA B-0_Factor de luz de día



$$S_{\text{máx. ventana}} = 2.0 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{acristalada}} = 0.85 \cdot 1.18 = 1.003 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{acristalada total}} = 1.003 \cdot 2 = 2.006 \approx 2.0 \text{ m}^2$$

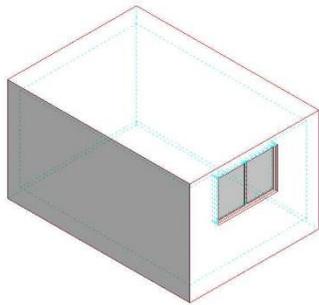


Valores factor de luz de día [%]		
DF medio	Dav	1,73
DF median	Dm	0,99
DF mínimo	Dmin	0,33
DF máximo	Dmax	9,92
Uniformidad 1	Dmin/Dav	0,19
Uniformidad 2	Dmin/Dmax	0,03
Porcentaje >95%	D95	0,44

NORMA UNE EN-17037_Tabla A.3 $F_{\text{ilum, \%}} = 50\%$				
Nación	Capital	Latitud [°]	D >100 lx	D >300 lx
España	Madrid	40,45°	0,6%	1,8%
Dinamarca	Copenhague	55,63°	0,7%	2,1%
Noruega	Oslo	59,90°	0,8%	2,4%
Finlandia	Helsinki	60,32°	0,7%	2,2%

Como se observa en las en las tablas, no se cumplen los porcentajes mínimos recomendados para las iluminancias de 100 lx y 300 lx para ninguna de las ciudades capitales.

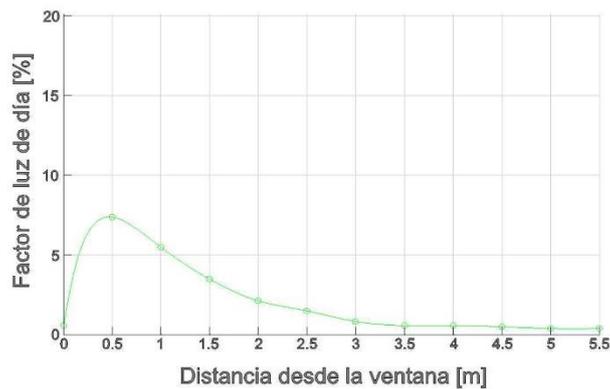
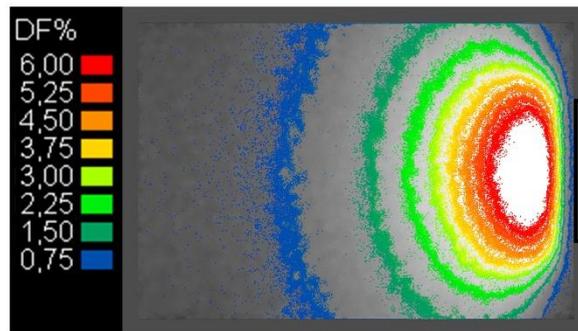
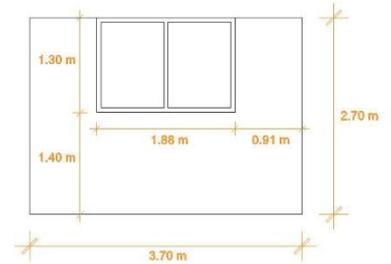
APERTURA B-1_Factor de luz de día



$$S_{\text{máx. ventana}} = 2.0 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{crietalada}} = 0.85 \cdot 1.18 = 1.003 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{crietalada total}} = 1.003 \cdot 2 = 2.006 \approx 2.0 \text{ m}^2$$

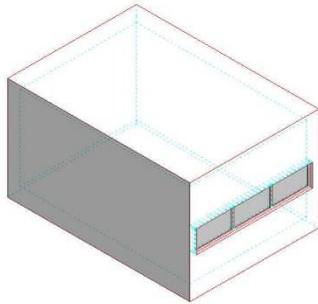


Valores factor de luz de día [%]		
DF medio	Dav	2,02
DF median	Dm	1,24
DF mínimo	Dmin	0,35
DF máximo	Dmax	9,32
Uniformidad 1	Dmin/Dav	0,17
Uniformidad 2	Dmin/Dmax	0,04
Porcentaje >95%	D95	0,48

NORMA UNE EN-17037_Tabla A.3 $F_{\text{ilum, \%}} = 50\%$				
Nación	Capital	Latitud [°]	D >100 lx	D >300 lx
España	Madrid	40,45°	0,8%	1,8%
Dinamarca	Copenhague	55,63°	0,7%	2,1%
Noruega	Oslo	59,90°	0,8%	2,4%
Finlandia	Helsinki	60,32°	0,7%	2,2%

Como se observa en las en las tablas, no se cumplen los porcentajes mínimos recomendados para las iluminancias de 100 lx y 300 lx para ninguna de las ciudades capitales.

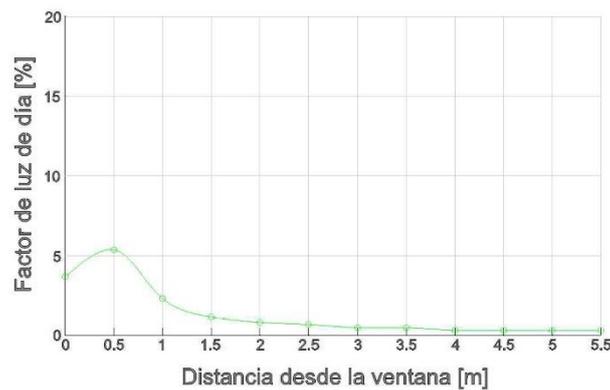
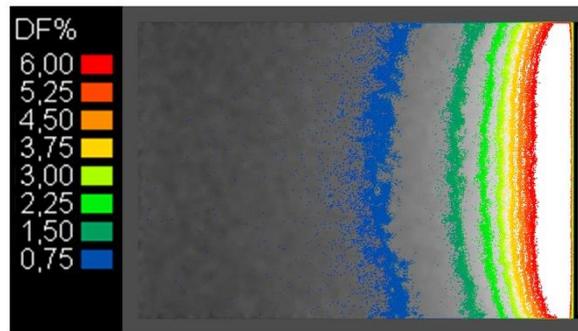
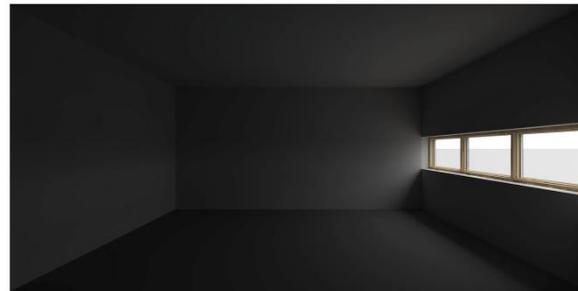
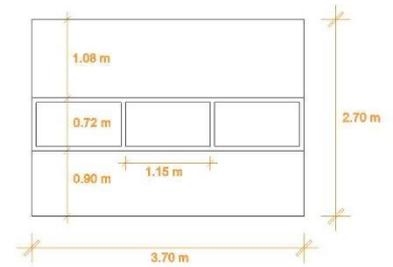
APERTURA B-2_Factor de luz de día



$S_{\text{máx. ventana}} = 2.0 \text{ m}^2$

$S_{\text{secretalada}} = 0.85 \cdot 1.18 = 1.003 \text{ m}^2$

$S_{\text{secretalada total}} = 1.003 \cdot 2 = 2.006 \approx 2.0 \text{ m}^2$

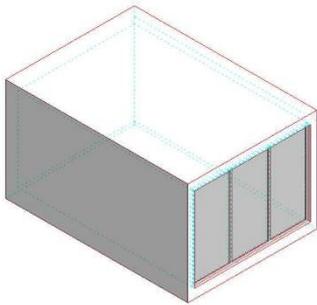


Valores factor de luz de día [%]		
DF medio	Dav	1,14
DF median	Dm	0,64
DF mínimo	Dmin	0,22
DF máximo	Dmax	7,09
Uniformidad 1	Dmin/Dav	0,19
Uniformidad 2	Dmin/Dmax	0,03
Porcentaje >95%	D95	0,32

NORMA UNE EN-17037_Tabla A.3 $F_{\text{ilum, \%}} = 50\%$				
Nación	Capital	Latitud [°]	D >100 lx	D >300 lx
España	Madrid	40,45°	0,6%	1,8%
Dinamarca	Copenhague	55,63°	0,7%	2,1%
Noruega	Oslo	59,90°	0,8%	2,4%
Finlandia	Helsinki	60,32°	0,7%	2,2%

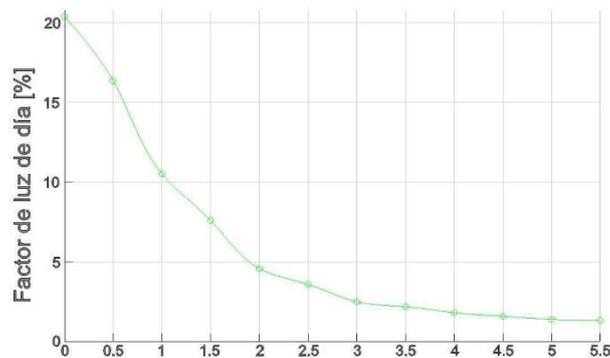
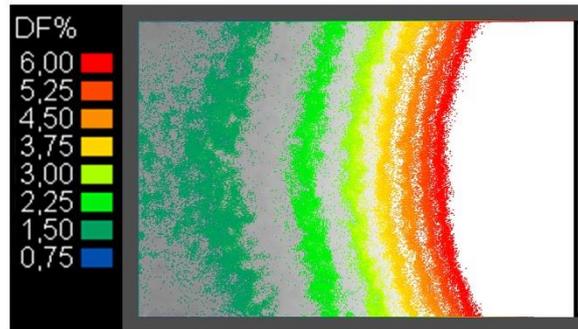
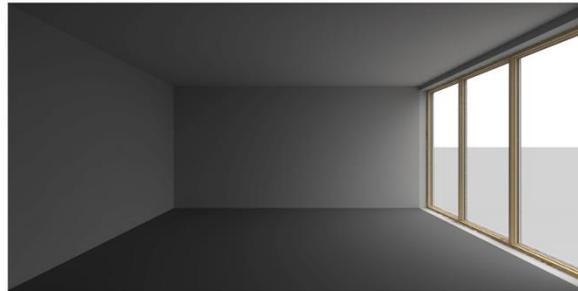
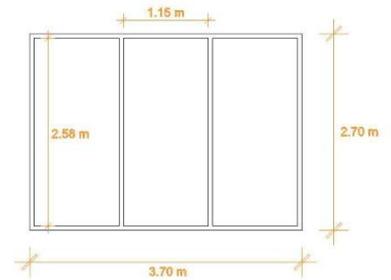
Como se observa en las en las tablas, no se cumplen los porcentajes mínimos recomendados para las iluminancias de 100 lx y 300 lx para ninguna de las ciudades capitales.

APERTURA B-3_Factor de luz de día



$$S_{\text{cristalada}} = 1.15 \cdot 2.58 = 2.97 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{cristalada total}} = 2.97 \cdot 3 = 8.91 \text{ m}^2$$

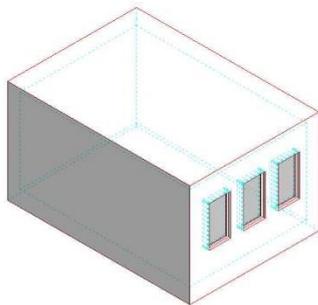


Valores factor de luz de día [%]		
DF medio	Dav	4,47
DF median	Dm	2,96
DF mínimo	Dmin	1,09
DF máximo	Dmax	17,58
Uniformidad 1	Dmin/Dav	0,24
Uniformidad 2	Dmin/Dmax	0,06
Porcentaje >95%	D95	1,39

NORMA UNE EN-17037_Tabla A.3 $F_{\text{ilum, \%}} = 50\%$				
Nación	Capital	Latitud [°]	D >100 lx	D >300 lx
España	Madrid	40,45°	0,8%	1,8%
Dinamarca	Copenhague	55,63°	0,7%	2,1%
Noruega	Oslo	59,90°	0,8%	2,4%
Finlandia	Helsinki	60,32°	0,7%	2,2%

Como se observa en las en las tablas, se cumplen los porcentajes mínimos recomendados para las iluminancias de 100 lx y 300 lx para cada una de las ciudades capitales.

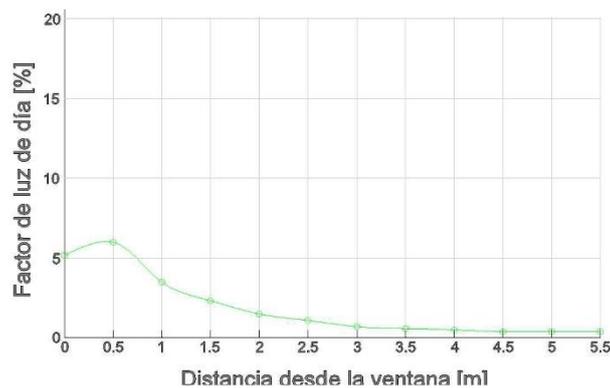
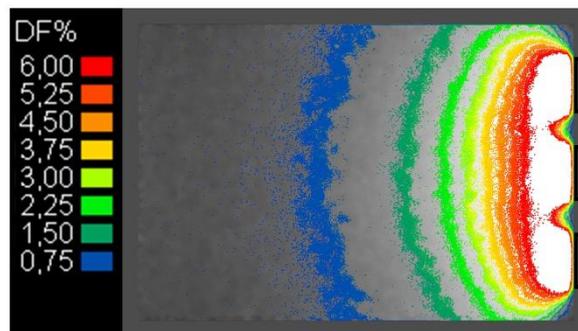
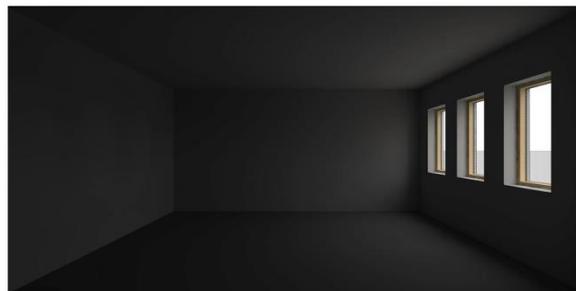
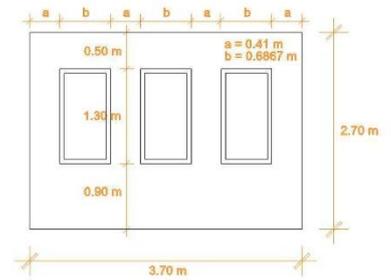
APERTURA C-0_Factor de luz de día



$S_{\text{máx. ventana}} = 2.0 \text{ m}^2$

$S_{\text{secretalada}} = 0.5667 \cdot 1.18 = 0.6687 \text{ m}^2$

$S_{\text{secretalada total}} = 0.6687 \cdot 3 = 2.0061 \approx 2.0 \text{ m}^2$

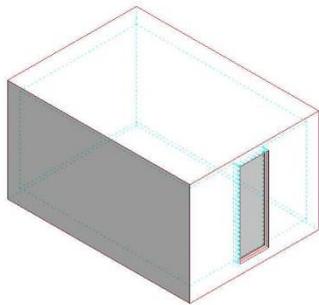


Valores factor de luz de día [%]		
DF medio	Dav	1,61
DF median	Dm	0,94
DF mínimo	Dmin	0,31
DF máximo	Dmax	8
Uniformidad 1	Dmin/Dav	0,19
Uniformidad 2	Dmin/Dmax	0,04
Porcentaje >95%	D95	0,42

NORMA UNE EN-17037_Tabla A.3 $F_{\text{ilum},\%} = 50\%$				
Nación	Capital	Latitud [°]	D >100 lx	D >300 lx
España	Madrid	40,45°	0,6%	1,8%
Dinamarca	Copenhague	55,63°	0,7%	2,1%
Noruega	Oslo	59,90°	0,8%	2,4%
Finlandia	Helsinki	60,32°	0,7%	2,2%

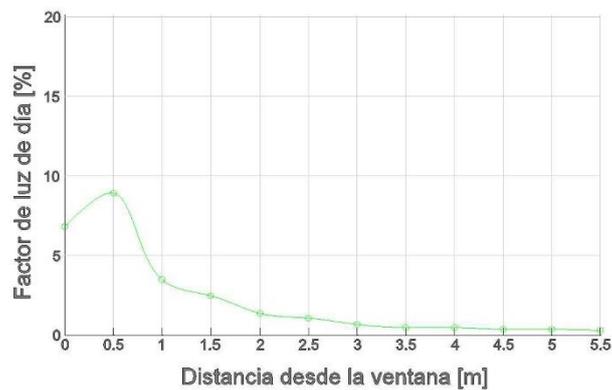
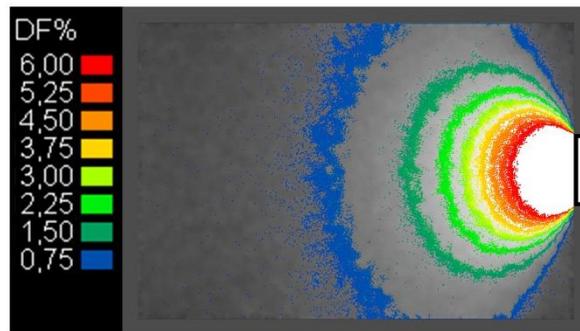
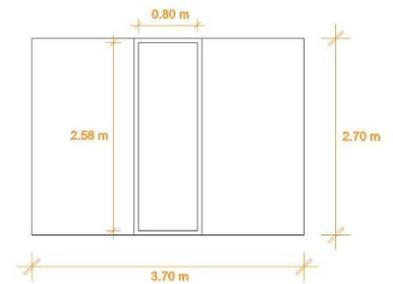
Como se observa en las en las tablas, no se cumplen los porcentajes mínimos recomendados para las iluminancias de 100 lx y 300 lx para ninguna de las ciudades capitales.

APERTURA C-1_Factor de luz de día



$S_{\text{máx. ventana}} = 2.0 \text{ m}^2$

$S_{\text{cristalada total}} = 0.8 \cdot 2.58 = 2.064 \approx 2.0 \text{ m}^2$

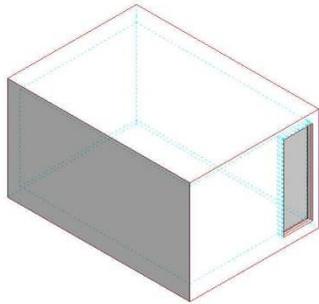


Valores factor de luz de día [%]		
DF medio	Dav	1,37
DF median	Dm	0,86
DF mínimo	Dmin	0,28
DF máximo	Dmax	10,1
Uniformidad 1	Dmin/Dav	0,2
Uniformidad 2	Dmin/Dmax	0,03
Porcentaje >95%	D95	0,38

NORMA UNE EN-17037_Tabla A.3_ $F_{\text{ilum, \%}} = 50\%$				
Nación	Capital	Latitud [°]	D >100 lx	D >300 lx
España	Madrid	40,45°	0,8%	1,8%
Dinamarca	Copenhague	55,63°	0,7%	2,1%
Noruega	Oslo	59,90°	0,8%	2,4%
Finlandia	Helsinki	60,32°	0,7%	2,2%

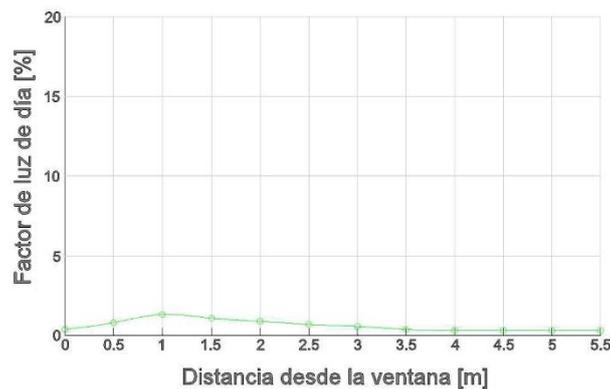
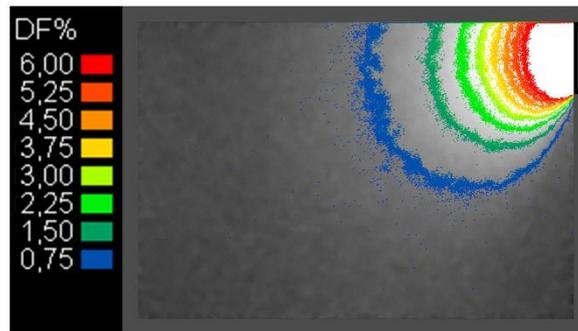
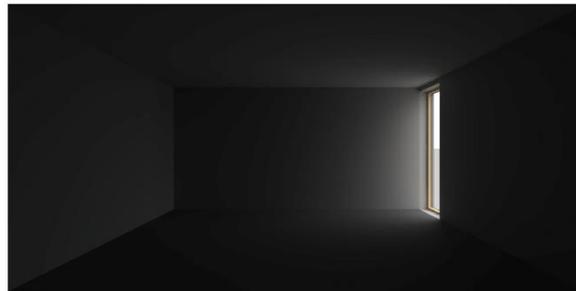
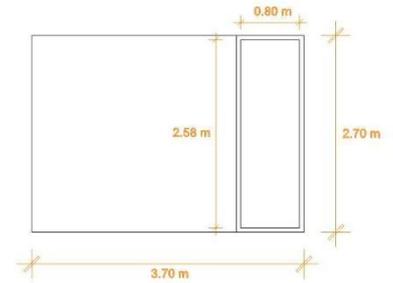
Como se observa en las en las tablas, no se cumplen los porcentajes mínimos recomendados para las iluminancias de 100 lx y 300 lx para ninguna de las ciudades capitales.

APERTURA C-2_Factor de luz de día



$S_{\text{máx. ventana}} = 2.0 \text{ m}^2$

$S_{\text{cristalada total}} = 0.8 \cdot 2.58 = 2.064 \approx 2.0 \text{ m}^2$

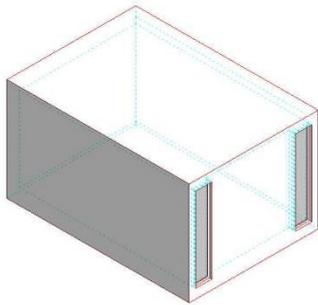


Valores factor de luz de día [%]		
DF medio	Dav	0,93
DF median	Dm	0,55
DF mínimo	Dmin	0,22
DF máximo	Dmax	10,25
Uniformidad 1	Dmin/Dav	0,23
Uniformidad 2	Dmin/Dmax	0,02
Porcentaje >95%	D95	0,32

NORMA UNE EN-17037_Tabla A.3 $F_{\text{ilme, \%}} = 50\%$				
Nación	Capital	Latitud [°]	D >100 lx	D >300 lx
España	Madrid	40,45°	0,6%	1,8%
Dinamarca	Copenhague	55,63°	0,7%	2,1%
Noruega	Oslo	59,90°	0,8%	2,4%
Finlandia	Helsinki	60,32°	0,7%	2,2%

Como se observa en las en las tablas, no se cumplen los porcentajes mínimos recomendados para las iluminancias de 100 lx y 300 lx para ninguna de las ciudades capitales.

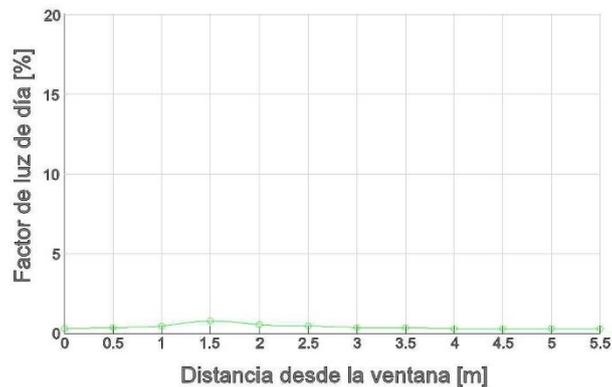
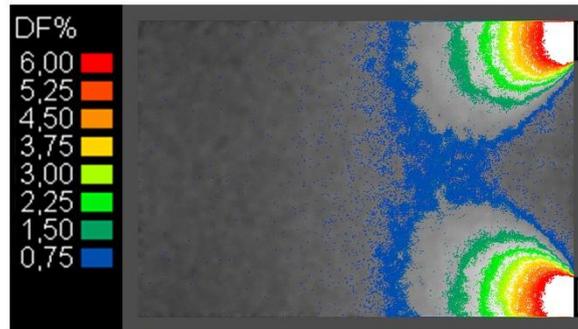
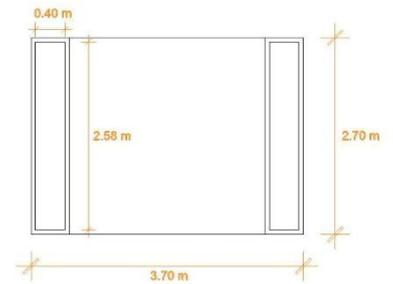
APERTURA D-1_Factor de luz de día



$$S_{\text{máx. ventana}} = 2.0 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{cristalada}} = 0.4 \cdot 2.58 = 1.032 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{cristalada total}} = 1.032 \cdot 2 = 2.064 \approx 2.0 \text{ m}^2$$



Valores factor de luz de día [%]		
DF medio	Dav	0,69
DF mediano	Dm	0,54
DF mínimo	Dmin	0,17
DF máximo	Dmax	5,14
Uniformidad 1	Dmin/Dav	0,25
Uniformidad 2	Dmin/Dmax	0,03
Porcentaje >95%	D95	0,28

NORMA UNE EN-17037_Tabla A.3_F _{ilum,%} = 50%				
Nación	Capital	Latitud [°]	D >100 lx	D >300 lx
España	Madrid	40,45°	0,8%	1,8%
Dinamarca	Copenhague	55,63°	0,7%	2,1%
Noruega	Oslo	59,90°	0,8%	2,4%
Finlandia	Helsinki	60,32°	0,7%	2,2%

Como se observa en las en las tablas, no se cumplen los porcentajes mínimos recomendados para las iluminancias de 100 lx y 300 lx para ninguna de las ciudades capitales.

7.2.12. Comprobación de los resultados

Tras realizar los cálculos, observamos que en condiciones de cielo nublado no se alcanza el porcentaje de factor de luz objetivo mínimo correspondiente a una iluminancia de 100 lx, para ninguna de las 4 ciudades analizadas, con la excepción de la abertura B3.

Por lo que se puede concluir que para un espacio iluminado por un único lado, no se pueden alcanzar los mínimos recomendados de iluminación natural con unas aberturas cuya superficie acristalada es del 10% de la superficie de la habitación.

De esta forma, las posibles soluciones para obtener los mínimos recomendados de iluminancia, son las siguientes:

- Aumentar la superficie acristalada
- Utilizar una iluminación cenital
- Utilizar una iluminación combinada

Por lo tanto, se van a realizar los cálculos para las posibles soluciones comentadas anteriormente. Por un lado, se realizarán los cálculos de las aberturas laterales anteriores con una superficie de acristalamiento del 20% de la superficie del suelo. Por otro lado, se realizará el estudio de una abertura cenital del orden del 7% de la superficie de la habitación.

Por último, se analizará la abertura D1, por ser la que tiene el porcentaje objetivo mínimo menor, combinada con una abertura cenital con una superficie de acristalamiento del 5% de la superficie del suelo.

$$S_{\text{habitación}} = 3,7 \times 5,4 = 19,98 \text{ m}^2 \approx 20 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{ventana lateral 20\%}} = 0,2 \times 20 = 4,0 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{ventana cenital 5\%}} = 0,05 \times 20 = 1,0 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{ventana cenital 7\%}} = 0,07 \times 20 = 1,4 \text{ m}^2$$

En el caso de la abertura B3, se han obtenido los siguientes resultados: $D_{av} = 4,47\%$; $D_m = 2,96\%$; y $D_{95} = 1,39\%$. Esto significa que, con esta abertura, es posible mantener una iluminancia de 100lx en el 95% de la superficie total del local y una iluminancia de 300 lx en la mitad de la superficie durante al menos la mitad de las horas de luz del día. Además, observamos que el porcentaje promedio es del 4,47%, el cual se sitúa entre el 3% y el 5%, por lo que hay una buena iluminación suficiente para actividades precisas durante bastantes horas al día.

En este caso, la abertura permite una visión completa del exterior, sin embargo, habrá que tener en cuenta las condiciones de privacidad y el deslumbramiento que puede producirse por la radiación directa solar. De tal forma que, para contrarrestar estas desventajas, cabría diseñar un sistema complementario para la protección solar del mismo. En el *Anexo I* se presentan algunos de los diferentes sistemas que se podrían aplicar a este caso.

7.3. Aberturas con una superficie del 20%

En este apartado se analizarán las aberturas laterales anteriores para un superficie de acristamiento del 20%. El resto de las propiedades, como las reflectancias o transmitancias, se mantienen en los valores utilizados para los calculos anteriores.

A continuación, se muestran las aberturas analizadas y su enumeracion. En total se muestran 10 tipos de aberturas laterales:

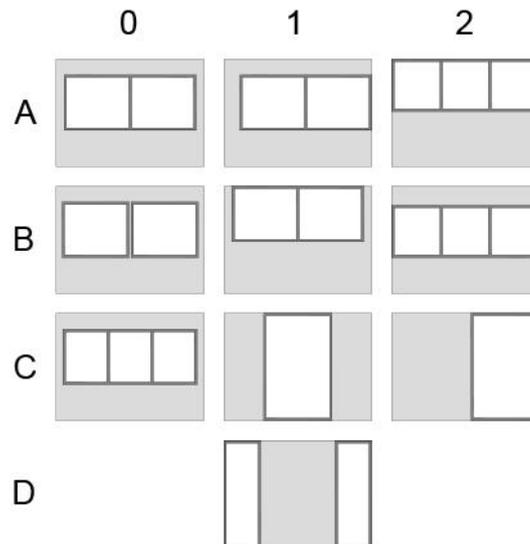
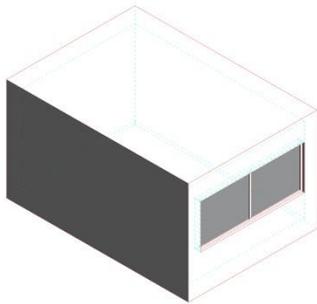


Fig. 23. Tipos de aberturas laterales con una superficie del 20%.

Las siguientes paginas muestran los resultados de las diferentes aberturas analizadas.

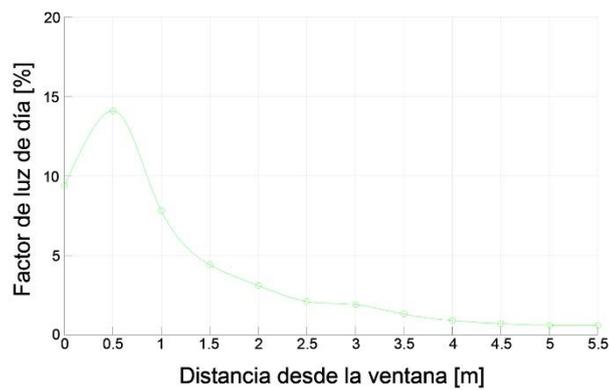
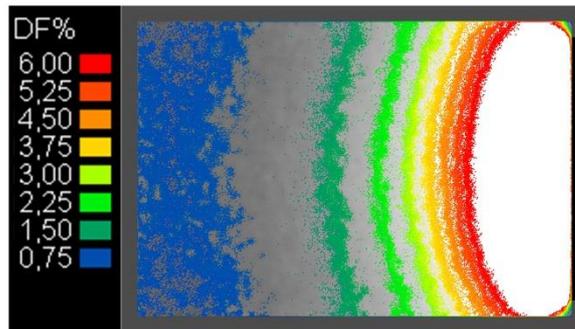
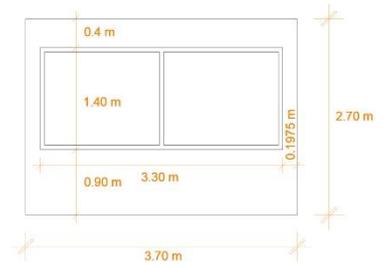
APERTURA A-0_Factor de luz de día_S_{20%}



$S_{\text{máx. ventana 20\%}} = 4.0 \text{ m}^2$

$S_{\text{acristalada}} = 1.563 \cdot 1.28 = 2.0 \text{ m}^2$

$S_{\text{acristalada total}} = 2.0 \cdot 2 = 4.00 \text{ m}^2$



Valores factor de luz de día [%]		
DF medio	Dav	3.17
DF mediano	Dm	1.74
DF mínimo	Dmin	0.55
DF máximo	Dmax	16.37

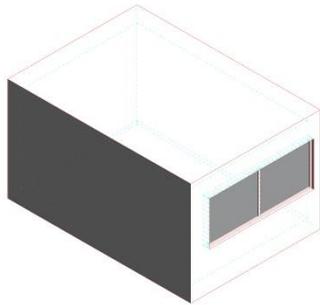
Uniformidad 1	Dmin/Dav	0.17
Uniformidad 2	Dmin/Dmax	0.03
Porcentaje >95%	D95	0.74

NORMA UNE EN-17037_Tabla A.3_F _{time,%} = 50%				
Nación	Capital	Latitud [°]	D >100 lx	D >300 lx
España	Madrid	40,45°	0,6%	1,8%
Dinamarca	Copenhague	55,63°	0,7%	2,1%
Noruega	Oslo	59,90°	0,8%	2,4%
Finlandia	Helsinki	60,32°	0,7%	2,2%

-No se alcanzan los valores de iluminancia de 300 lx para ninguna de las ciudades

- Los valores de iluminancia de 100 lx se alcanzan en todas las ciudades excepto Oslo.

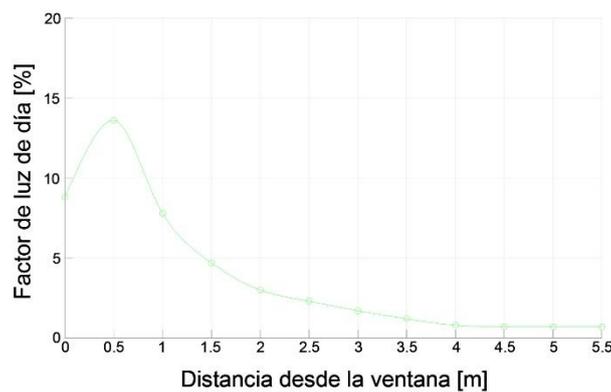
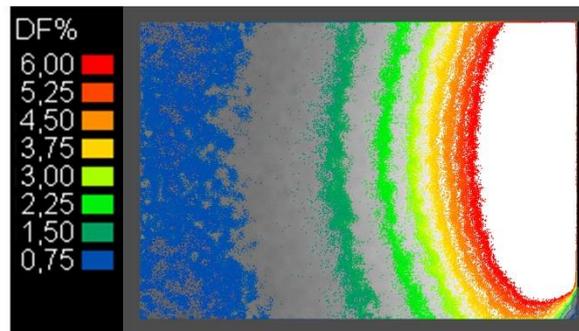
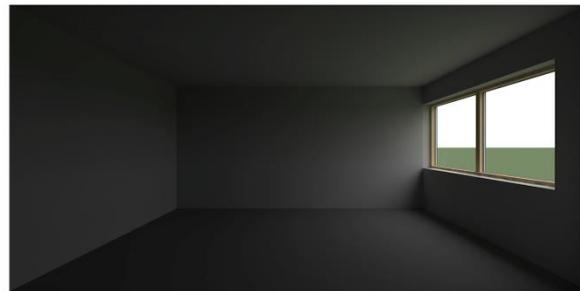
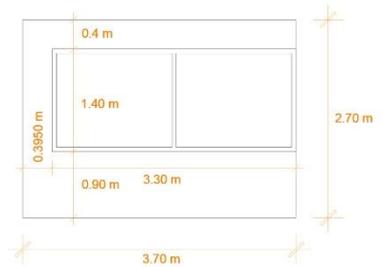
APERTURA A-1_Factor de luz de día_S_{20%}



$S_{\text{máx. ventana 20\%}} = 4.0 \text{ m}^2$

$S_{\text{acristalada}} = 1.563 \cdot 1.28 = 2.0 \text{ m}^2$

$S_{\text{acristalada total}} = 2.0 \cdot 2 = 4.00 \text{ m}^2$



Valores factor de luz de día [%]		
DF medio	D _{av}	3.15
DF mediano	D _m	1.74
DF mínimo	D _{min}	0.55
DF máximo	D _{max}	16.63

Uniformidad 1	D _{min} /D _{av}	0.18
Uniformidad 2	D _{min} /D _{max}	0.03
Porcentaje >95%	D ₉₅	0.73

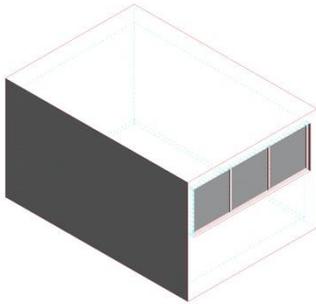
NORMA UNE EN-17037_Tabla A.3_F _{time,%} = 50%				
Nación	Capital	Latitud [°]	D >100 lx	D >300 lx
España	Madrid	40,45°	0,6%	1,8%
Dinamarca	Copenhague	55,63°	0,7%	2,1%
Noruega	Oslo	59,90°	0,8%	2,4%
Finlandia	Helsinki	60,32°	0,7%	2,2%

-No se alcanzan los valores de iluminancia de 300 lx para ninguna de las ciudades

- Los valores de iluminancia de 100 lx se alcanzan en todas las ciudades excepto Oslo.

COMO LA LUZ CONDICIONA EL ESPACIO
Una comparativa entre los Países Nórdicos y Valencia

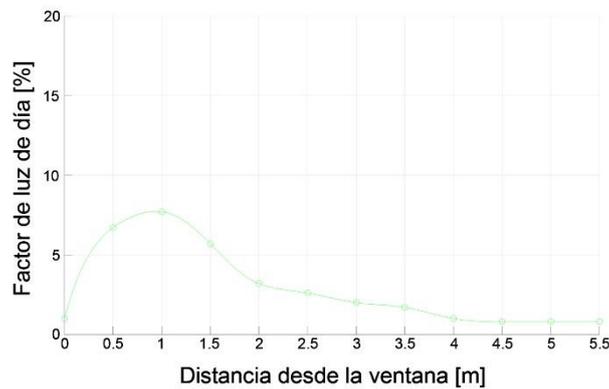
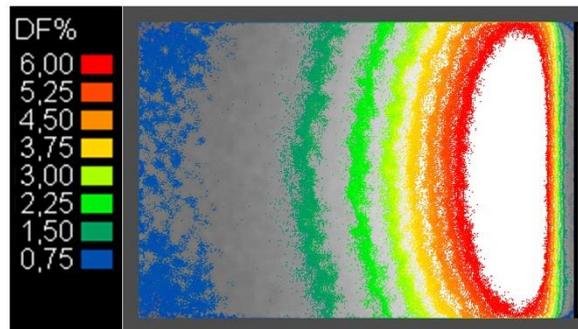
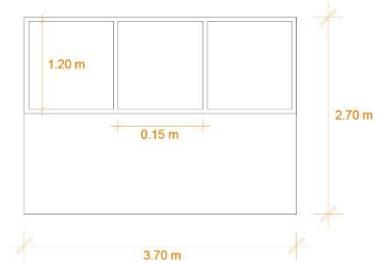
APERTURA A-2_Factor de luz de día_S_{20%}



$S_{\text{máx. ventana 20\%}} = 4.0 \text{ m}^2$

$S_{\text{cristalada}} = 1.15 \cdot 1.2 = 1.38 \text{ m}^2$

$S_{\text{cristalada total}} = 01.38 \cdot 3 = 4.14 \approx 4.0 \text{ m}^2$



Valores factor de luz de día [%]		
DF medio	Dav	3.28
DF mediano	Dm	2.13
DF mínimo	Dmin	0.65
DF máximo	Dmax	10.78

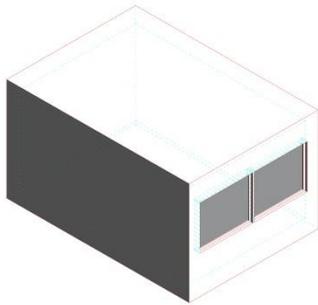
Uniformidad 1	Dmin/Dav	0.20
Uniformidad 2	Dmin/Dmax	0.06
Porcentaje >95%	D95	0.84

NORMA UNE EN-17037_Tabla A.3_F _{time,%} = 50%				
Nación	Capital	Latitud [°]	D >100 lx	D >300 lx
España	Madrid	40,45°	0,6%	1,8%
Dinamarca	Copenhague	55,63°	0,7%	2,1%
Noruega	Oslo	59,90°	0,8%	2,4%
Finlandia	Helsinki	60,32°	0,7%	2,2%

-Se alcanzan los valores de iluminancia de 300 lx solo para las ciudades de Valencia y Copenhague

- Los valores de iluminancia de 100 lx se alcanzan en todas las ciudades

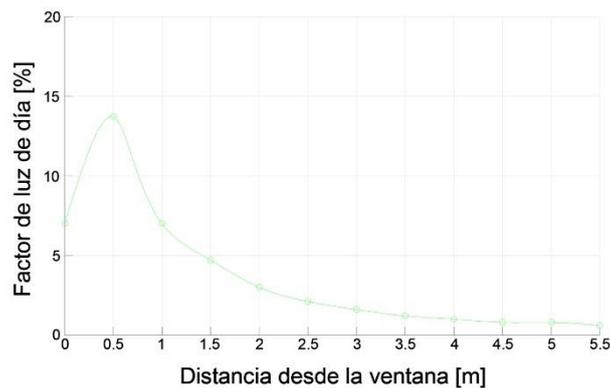
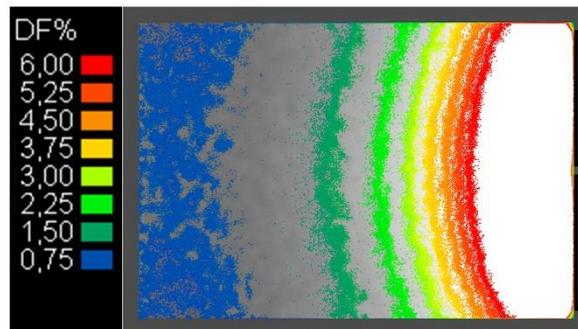
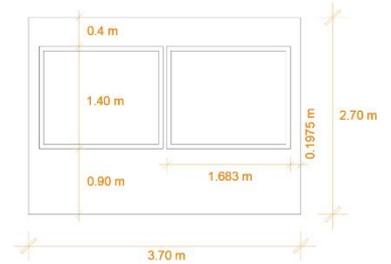
APERTURA B-0_Factor de luz de día_S_{20%}



$S_{\text{máx. ventana 20\%}} = 4.0 \text{ m}^2$

$S_{\text{sacristalada}} = 1.563 \cdot 1.28 = 2.0 \text{ m}^2$

$S_{\text{sacristalada total}} = 2.0 \cdot 2 = 4.00 \text{ m}^2$



Valores factor de luz de día [%]		
DF medio	Dav	3.19
DF mediano	Dm	1.79
DF mínimo	Dmin	0.58
DF máximo	Dmax	15.61

Uniformidad 1	Dmin/Dav	0.18
Uniformidad 2	Dmin/Dmax	0.04
Porcentaje >95%	D95	0.76

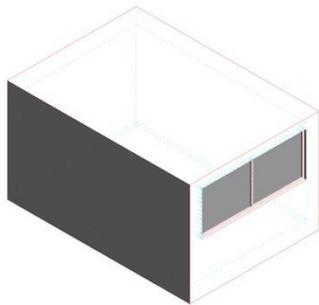
NORMA UNE EN-17037_Tabla A.3_F _{time,%} = 50%				
Nación	Capital	Latitud [°]	D >100 lx	D >300 lx
España	Madrid	40,45°	0,6%	1,8%
Dinamarca	Copenhague	55,63°	0,7%	2,1%
Noruega	Oslo	59,90°	0,8%	2,4%
Finlandia	Helsinki	60,32°	0,7%	2,2%

-Se alcanzan los valores de iluminancia de 300 lx solo para la ciudad de valencia

- Los valores de iluminancia de 100 lx se alcanzan en todas las ciudades excepto Oslo.

COMO LA LUZ CONDICIONA EL ESPACIO
Una comparativa entre los Países Nórdicos y Valencia

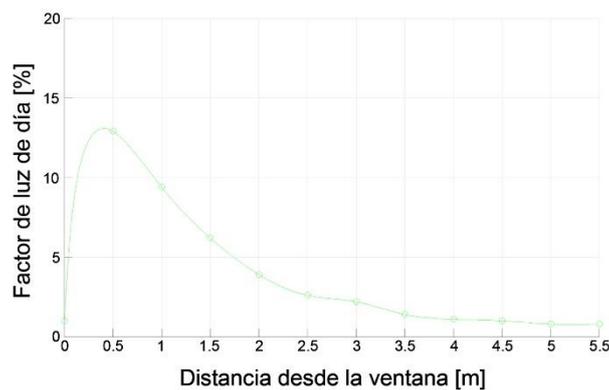
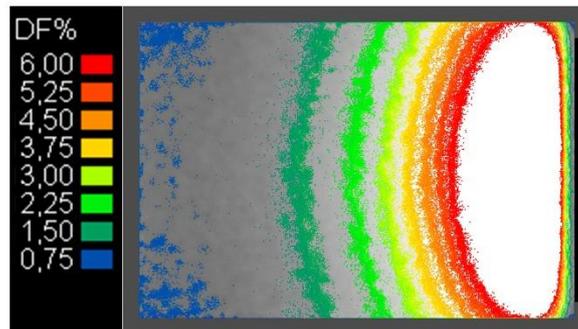
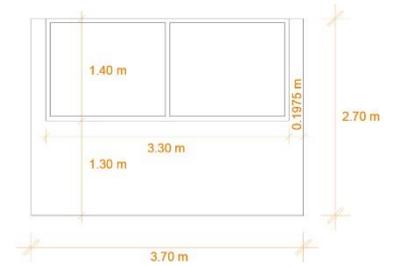
APERTURA B-1_Factor de luz de día_S_{20%}



$S_{\text{máx. ventana 20\%}} = 4.0 \text{ m}^2$

$S_{\text{acristalada}} = 1.563 \cdot 1.28 = 2.0 \text{ m}^2$

$S_{\text{acristalada total}} = 2.0 \cdot 2 = 4.00 \text{ m}^2$



Valores factor de luz de día [%]		
DF medio	Dav	3.69
DF mediano	Dm	2.22
DF mínimo	Dmin	0.69
DF máximo	Dmax	14.75

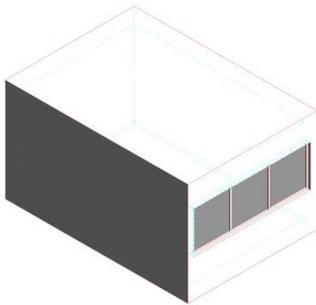
Uniformidad 1	Dmin/Dav	0.19
Uniformidad 2	Dmin/Dmax	0.05
Porcentaje >95%	D95	0.89

NORMA UNE EN-17037_Tabla A.3_F _{time,%} = 50%				
Nación	Capital	Latitud [°]	D >100 lx	D >300 lx
España	Madrid	40,45°	0,6%	1,8%
Dinamarca	Copenhague	55,63°	0,7%	2,1%
Noruega	Oslo	59,90°	0,8%	2,4%
Finlandia	Helsinki	60,32°	0,7%	2,2%

-Se alcanzan los valores de iluminancia de 300 lx para todas las ciudades excepto en Oslo.

- Los valores de iluminancia de 100 lx se alcanzan en todas las ciudades.

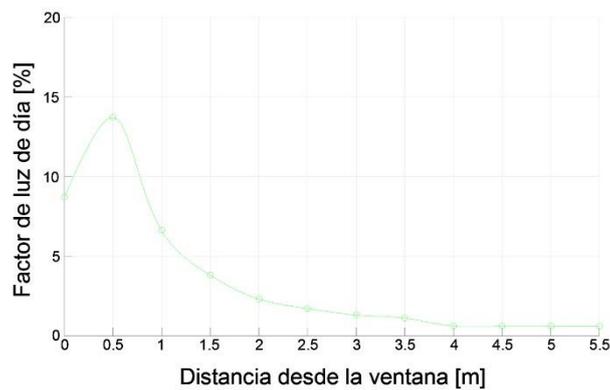
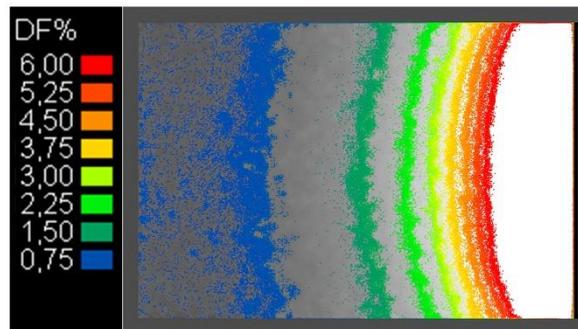
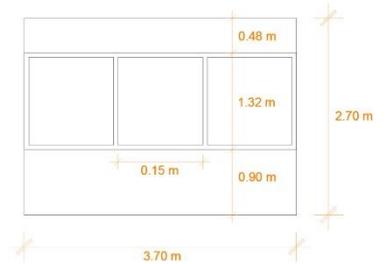
APERTURA B-2_Factor de luz de día_S_{20%}



$S_{\text{máx. ventana 20\%}} = 4.0 \text{ m}^2$

$S_{\text{cristalada}} = 1.15 \cdot 1.2 = 1.38 \text{ m}^2$

$S_{\text{cristalada total}} = 01.38 \cdot 3 = 4.14 \approx 4.0 \text{ m}^2$



Valores factor de luz de día [%]		
DF medio	D _{av}	2.61
DF mediano	D _m	1.40
DF mínimo	D _{min}	0.45
DF máximo	D _{max}	14.16

Uniformidad 1	D _{min} /D _{av}	0.17
Uniformidad 2	D _{min} /D _{max}	0.03
Porcentaje >95%	D ₉₅	0.61

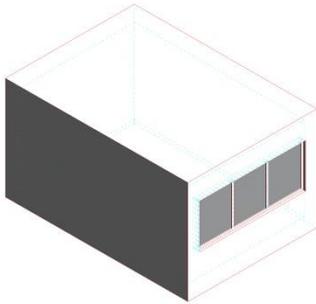
NORMA UNE EN-17037_Tabla A.3_F _{time,%} = 50%				
Nación	Capital	Latitud [°]	D >100 lx	D >300 lx
España	Madrid	40,45°	0,6%	1,8%
Dinamarca	Copenhague	55,63°	0,7%	2,1%
Noruega	Oslo	59,90°	0,8%	2,4%
Finlandia	Helsinki	60,32°	0,7%	2,2%

-No se alcanzan los valores de iluminancia de 300 lx para ninguna de las ciudades

- Los valores de iluminancia de 100 lx se alcanzan solo en la ciudad de Valencia.

COMO LA LUZ CONDICIONA EL ESPACIO
Una comparativa entre los Países Nórdicos y Valencia

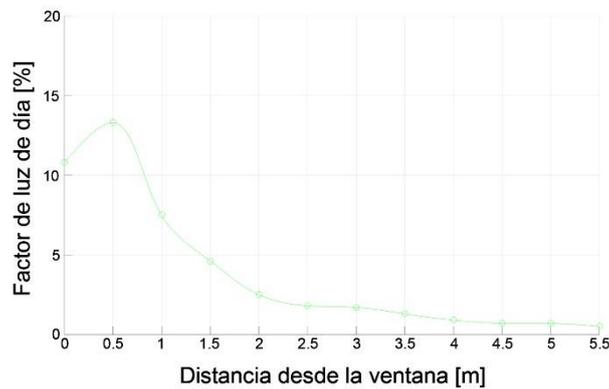
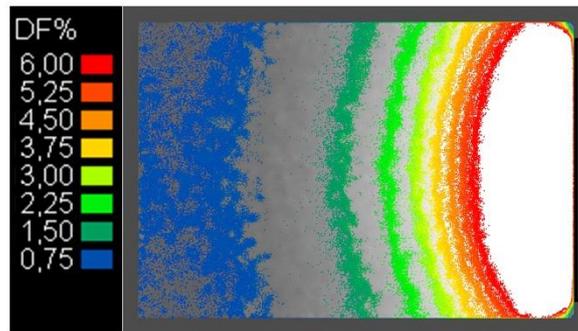
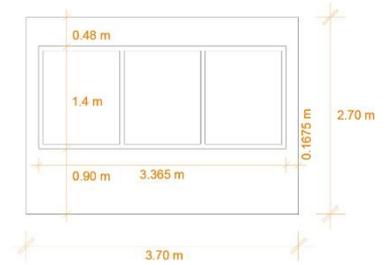
APERTURA C-0_Factor de luz de día_S_{20%}



$S_{\text{máx. ventana 20\%}} = 4.0 \text{ m}^2$

$S_{\text{cristalada}} = 1.04 \cdot 1.28 = 1.33 \text{ m}^2$

$S_{\text{cristalada total}} = 1.33 \cdot 3 = 3.99 \approx 4.0 \text{ m}^2$



Valores factor de luz de día [%]		
DF medio	Dav	2.98
DF mediano	Dm	1.63
DF mínimo	Dmin	0.53
DF máximo	Dmax	15.69

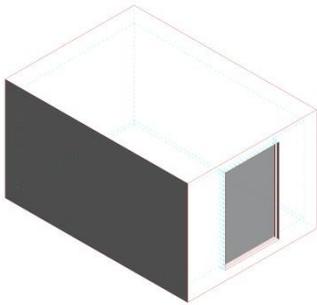
Uniformidad 1	Dmin/Dav	0.18
Uniformidad 2	Dmin/Dmax	0.03
Porcentaje >95%	D95	0.69

NORMA UNE EN-17037_Tabla A.3_F _{time,%} = 50%				
Nación	Capital	Latitud [°]	D >100 lx	D >300 lx
España	Madrid	40,45°	0,6%	1,8%
Dinamarca	Copenhague	55,63°	0,7%	2,1%
Noruega	Oslo	59,90°	0,8%	2,4%
Finlandia	Helsinki	60,32°	0,7%	2,2%

-No se alcanzan los valores de iluminancia de 300 lx para ninguna de las ciudades

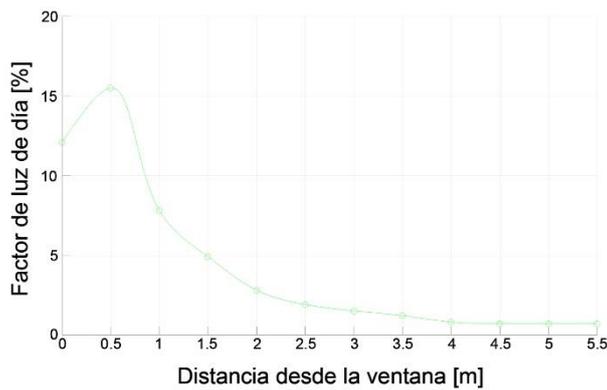
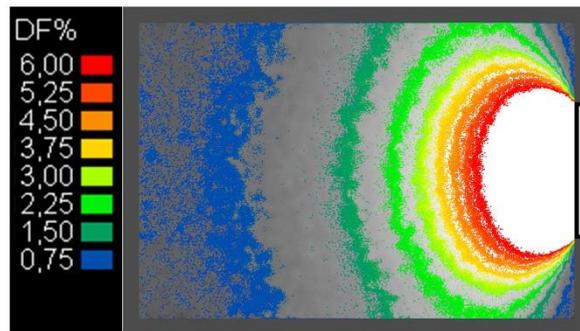
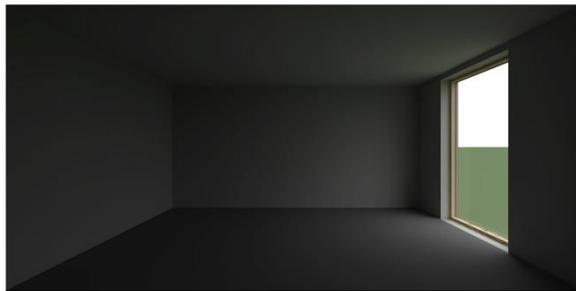
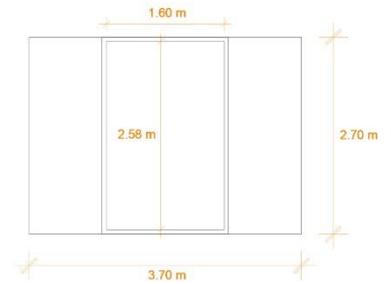
- Los valores de iluminancia de 100 lx se alcanzan en todas las ciudades excepto Oslo.

APERTURA C-1_Factor de luz de día_S_{20%}



$S_{\text{máx. ventana 20\%}} = 4.0 \text{ m}^2$

$S_{\text{acristalada total}} = 1.6 \cdot 2.58 = 4.12 \approx 4.0 \text{ m}^2$



Valores factor de luz de día [%]		
DF medio	Dav	2.59
DF mediano	Dm	1.54
DF mínimo	Dmin	0.48
DF máximo	Dmax	16.02

Uniformidad 1	Dmin/Dav	0.19
Uniformidad 2	Dmin/Dmax	0.03
Porcentaje >95%	D95	0.66

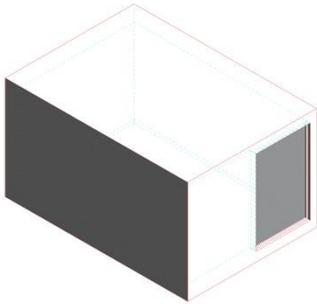
NORMA UNE EN-17037_Tabla A.3_F _{time,%} = 50%				
Nación	Capital	Latitud [°]	D >100 lx	D >300 lx
España	Madrid	40,45°	0,6%	1,8%
Dinamarca	Copenhague	55,63°	0,7%	2,1%
Noruega	Oslo	59,90°	0,8%	2,4%
Finlandia	Helsinki	60,32°	0,7%	2,2%

-No se alcanzan los valores de iluminancia de 300 lx para ninguna de las ciudades

- Los valores de iluminancia de 100 lx se alcanzan solo para la ciudad de Valencia.

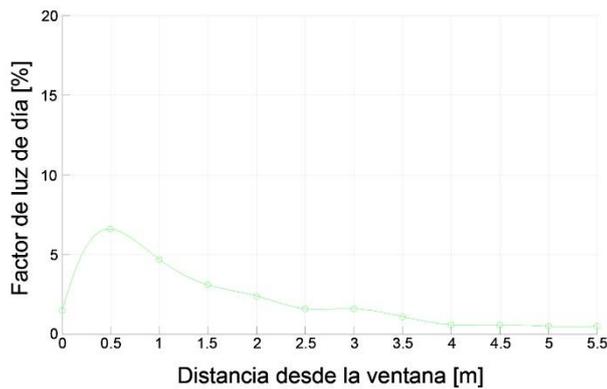
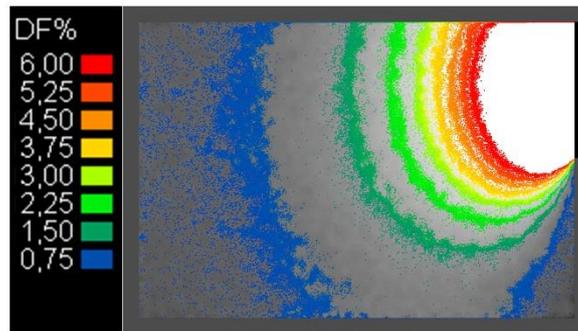
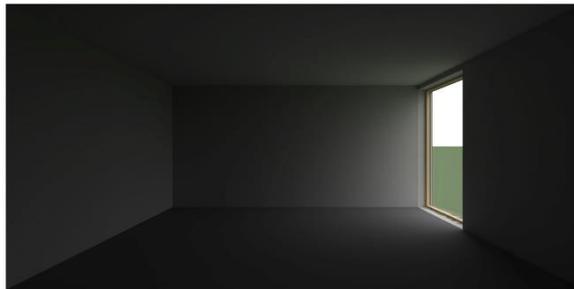
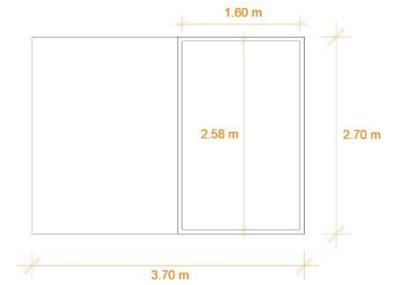
COMO LA LUZ CONDICIONA EL ESPACIO
Una comparativa entre los Países Nórdicos y Valencia

APERTURA C-2_Factor de luz de día_S_{20%}



$S_{\text{máx. ventana 20\%}} = 4.0 \text{ m}^2$

$S_{\text{acristalada total}} = 1.6 \cdot 2.58 = 4.12 \approx 4.0 \text{ m}^2$



Valores factor de luz de día [%]		
DF medio	D _{av}	2.12
DF mediano	D _m	1.22
DF mínimo	D _{min}	0.45
DF máximo	D _{max}	17.09

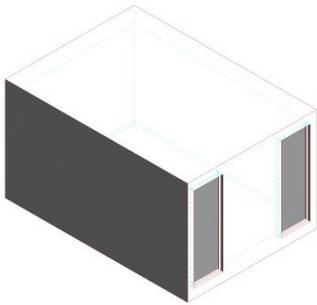
Uniformidad 1	D _{min} /D _{av}	0.21
Uniformidad 2	D _{min} /D _{max}	0.03
Porcentaje >95%	D ₉₅	0.60

NORMA UNE EN-17037_Tabla A.3_F _{time,%} = 50%					
Nación	Capital	Latitud [°]	D >100 lx	D >300 lx	
España	Madrid	40,45°	0,6%	1,8%	
Dinamarca	Copenhague	55,63°	0,7%	2,1%	
Noruega	Oslo	59,90°	0,8%	2,4%	
Finlandia	Helsinki	60,32°	0,7%	2,2%	

-No se alcanzan los valores de iluminancia de 300 lx para ninguna de las ciudades

- Los valores de iluminancia de 100 lx se alcanzan solo para la ciudad de Valencia.

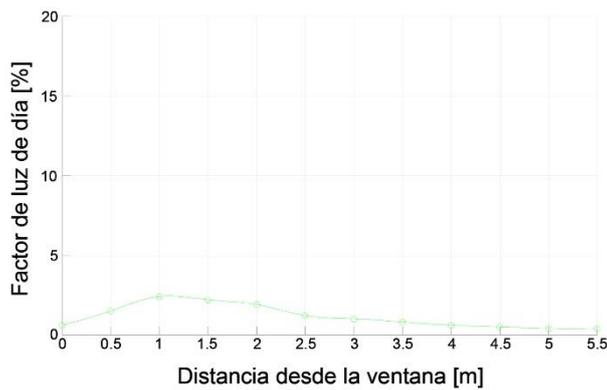
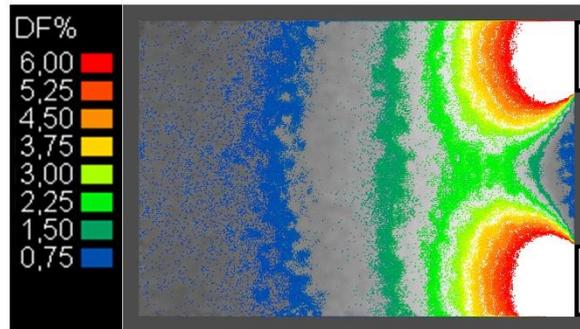
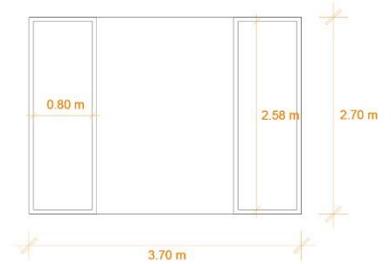
APERTURA D-1_Factor de luz de día_S_{20%}



$S_{\text{máx. ventana 20\%}} = 4.0 \text{ m}^2$

$S_{\text{sacristalada}} = 0.8 \cdot 2.58 = 2.064 \text{ m}^2$

$S_{\text{sacristalada total}} = 2.064 \cdot 2 = 4.12 \approx 4.0 \text{ m}^2$



Valores factor de luz de día [%]		
DF medio	Dav	1.68
DF mediano	Dm	1.19
DF mínimo	Dmin	0.40
DF máximo	Dmax	10.66

Uniformidad 1	Dmin/Dav	0.24
Uniformidad 2	Dmin/Dmax	0.04
Porcentaje >95%	D95	0.55

NORMA UNE EN-17037_Tabla A.3_F _{time,%} = 50%				
Nación	Capital	Latitud [°]	D >100 lx	D >300 lx
España	Madrid	40,45°	0,6%	1,8%
Dinamarca	Copenhague	55,63°	0,7%	2,1%
Noruega	Oslo	59,90°	0,8%	2,4%
Finlandia	Helsinki	60,32°	0,7%	2,2%

-No se alcanzan los valores de iluminancia de 300 lx para ninguna de las ciudades

- No se alcanzan los valores de iluminancia de 100 lx para ninguna de las ciudades

7.3.11. Comprobación de los resultados

A continuación, en la Figura 24 se muestran los resultados de las aberturas con una superficie del 20% con los valores del D promedio (Dav), del D mediano (Dm) y del porcentaje superior al 95% (D95). También se muestran los valores mínimos recomendados por la norma UNE EN - 17037 para poder realizar las comprobaciones de los resultados.

		A0	A1	A2	B0	B1	B2	C0	C1	C2	D1
DF promedio	Dav	3.17	3.15	3.28	3.19	3.69	2.61	2.98	2.59	2.12	1.68
DF mediano	Dm	1.74	1.74	2.13	1.79	2.22	1.40	1.63	1.54	1.22	1.19
Porcentaje >95%	D95	0.74	0.73	0.84	0.76	0.89	0.61	0.69	0.66	0.60	0.55

Nación	Capital	Latitud [°]	D >100 lx	D >300 lx
España	Madrid	40,45°	0,6%	1,8%
Dinamarca	Copenhague	55,63°	0,7%	2,1%
Noruega	Oslo	59,90°	0,8%	2,4%
Finlandia	Helsinki	60,32°	0,7%	2,2%

Fig. 24. Tablas resumen para la comprobación de los resultados de D para los valores de Dav, Dm y D95.

Como se puede observar en las tablas anteriores, se cumplen los valores de factor de luz objetivo mínimo, para una superficie del 95% del suelo y una iluminancia de 100 lx para la ciudad de Valencia, en todas las aberturas a excepción de la D1. Sin embargo, para las únicas aberturas que alcanzan los valores mínimos de 300 lx de iluminancia para la ciudad de Valencia son: la A2, la B0 y la B1.

En el caso de la abertura A0 y A1, se cumplen los valores mínimos para una iluminancia de 100 lx para las ciudades de Valencia, Tampere y Copenhague. Sin embargo, no se cumplen los mínimos de 100 lx para Oslo, ni los mínimos de 300 lx para ninguna de las cuatro ciudades estudiadas.

Para la abertura A2, se han obtenido valores iguales o superiores para D95 en todas las ciudades, pero los valores mínimos para una iluminancia de 300 lx, solo se alcanzan en las ciudades de Valencia y Copenhague.

El caso B0 es muy similar al A0 y A1, pero en este caso al estar el valor de Dm (1,79%) tan cerca del valor mínimo establecido por la norma para la ciudad de Madrid (1,8%), se considera que cumple los valores mínimos para la ciudad de Valencia.

Para la abertura B1 se alcanzan los valores mínimos de D95 en todas las ciudades, mientras que los valores de Dm relacionados con la iluminancia de 300 lx se alcanzan en todas las ciudades exceptuando la ciudad de Oslo.

En las aberturas B2, C1 y C2 solo se cumple el valor de factor de luz objetivo mínimo para una iluminancia de 100 lx en el caso de la ciudad de Valencia. Para ninguna ciudad se alcanza la iluminancia mínima de 300 lx en el 50% de la superficie del local.

La abertura C0 tiene un valor de D95 de 0,69%, por lo que puede considerarse que se alcanzan los valores mínimos de iluminancia de 100 lx para el 95% de la superficie del suelo en todas las ciudades a excepción de Oslo.

Por último, la abertura D1 no cumple los mínimos recomendados por la norma, por lo tanto, se debería plantear en este caso bien el apoyo de iluminación artificial o bien complementándolo con una iluminación cenital.

Teniendo en cuenta los valores obtenidos de factor de luz promedio, se concluye que las aberturas A0, A1, A2, B0 y B1, tienen un porcentaje medio superior al 3%, por lo tanto, con una superficie de acristalamiento del 20% hay una buena iluminación suficiente para actividades precisas durante bastantes horas al día en estos casos.

Para el resto de las aberturas, la B2, C0, C1 y C2, se obtiene un valor del factor de luz diurna promedio superior al 2%, por lo tanto, se considera que el espacio está bien iluminado durante el día, sin embargo, para algunas tareas con mayores niveles de iluminancia puede requerirse el uso de iluminación artificial.

Para todas aquellas aberturas que no cumplen el valor del factor de luz objetivo relacionado con los 300 lx de iluminancia deben estudiarse diferentes soluciones. Algunas de estas, serían la utilización de un sistema de iluminación combinada o la iluminación bilateral del espacio. En algunos casos puede ser necesario el uso de la luz artificial para conseguir los niveles de iluminancia requeridos para la tarea que se pretenda realizar en el espacio proyectado.

Por último, dado que en estos casos de estudio se ha aumentado a la superficie de acristalamiento, también se han incrementado las probabilidades de deslumbramiento y de pérdidas de calor. Esto son características que pueden afectar en gran medida al confort y bienestar de los ocupantes. Por lo tanto, a la hora del diseño de estas aberturas es fundamental incluir desde el inicio del proyecto diferentes sistemas de protección solar, ya sean fijos, interiores u exteriores, teniendo en cuenta la localización geográfica del proyecto, así como la orientación de las aberturas.

En el *Anexo I* se comentan algunas de las posibles protecciones solares que permiten el control de la calidad y cantidad de distribución luminosa dentro del espacio.

7.4. Aberturas cenitales

En este apartado se van a analizar por un lado una habitación con una abertura cenital del orden del 7% de la superficie del suelo, y por otro lado se realizará un sistema de iluminación combinando la abertura con menor D95 de los cálculos realizados con una superficie de acristalamiento del 10% de la superficie de la habitación, junto a una abertura horizontal con una superficie acristalada del 5%.

$$S_{\text{habitación}} = 3,7 \times 5,4 = 19,98 \text{ m}^2 \approx 20 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{ventana lateral 10\%}} = 0,1 \times 20 = 2,0 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{ventana cenital 5\%}} = 0,05 \times 20 = 1,0 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{ventana cenital 7\%}} = 0,07 \times 20 = 1,4 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{sistema combinado}} = 2,0 + 1,0 = 3,0 \text{ m}^2$$

El resto de las propiedades, como las reflectancias o transmitancias, se mantienen en los valores utilizados para los calculos anteriores.

A continuación, se muestran las aberturas analizadas y su enumeracion:

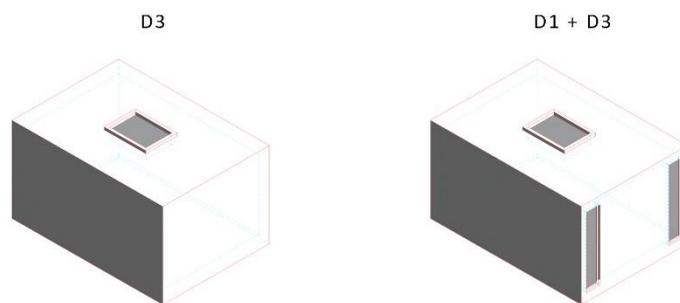
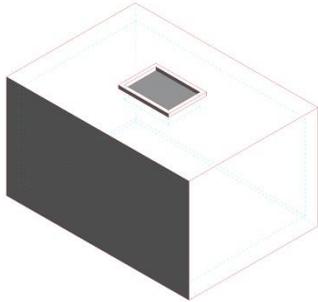


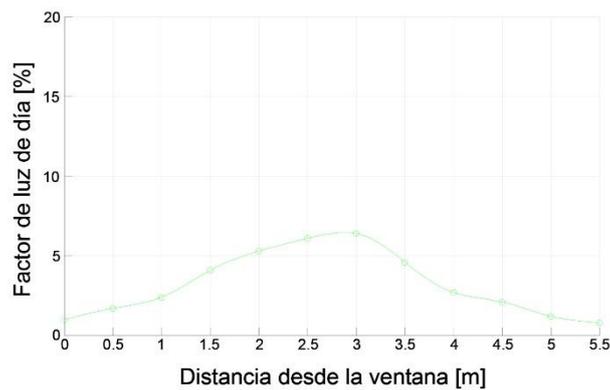
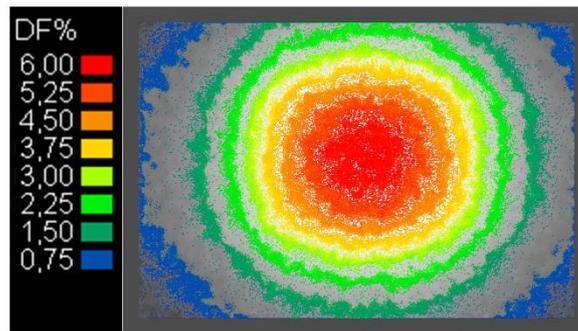
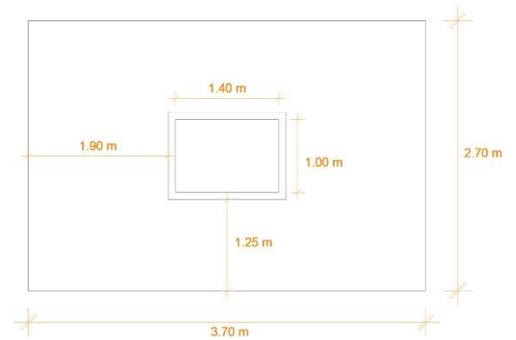
Fig. 25. Tipos de aberturas cenitales

APERTURA D-3_Factor de luz de día_S_{7%}



$$S_{\text{máx. ventana 7\%}} = 20.00 \cdot 0.07 = 1.4 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{acristalada total}} = 1.0 \cdot 1.4 = 1.4 \text{ m}^2$$



Valores factor de luz de día [%]		
DF medio	D _{av}	3.24
DF mediano	D _m	3.06
DF mínimo	D _{min}	0.57
DF máximo	D _{max}	7.51

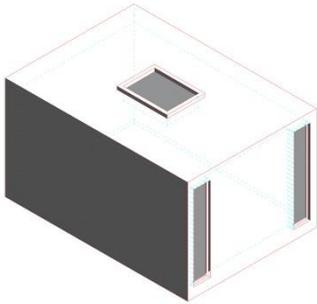
Uniformidad 1	D _{min} /D _{av}	0.18
Uniformidad 2	D _{min} /D _{max}	0.08
Porcentaje >95%	D ₉₅	1.17

NORMA UNE EN-17037_Tabla A.4_F _{time,%} = 50%				
Nación	Capital	Latitud [°]	D >100 lx	D >300 lx
España	Madrid	40,45°	0,3%	0,9%
Dinamarca	Copenhague	55,63°	0,6%	1,7%
Noruega	Oslo	59,90°	0,7%	2,1%
Finlandia	Helsinki	60,32°	0,6%	1,8%

-Los valores de iluminancia de 100 y 300 lx se alcanzan en todas las ciudades

COMO LA LUZ CONDICIONA EL ESPACIO
Una comparativa entre los Países Nórdicos y Valencia

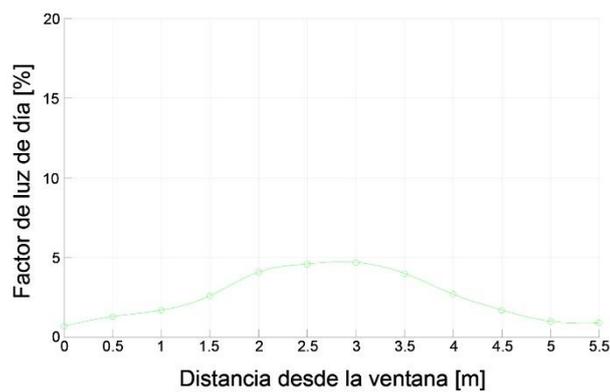
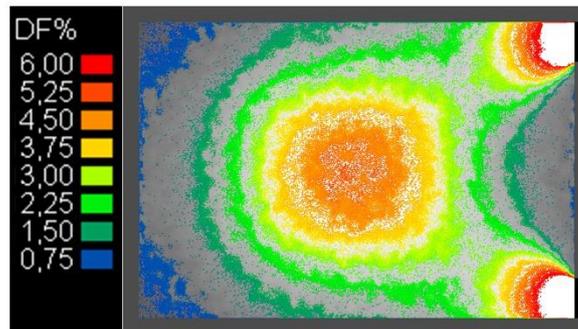
APERTURA_D-1+D-3_Factor de luz de día $S_{10\%} + S_{7\%}$



$$S_{\text{acristalada TECHO}} = 0.9 \cdot 1.2 = 1.08 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{acristalada total PARED}} = 0.4 \cdot 2.58 \cdot 2 = 2.06 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{acristalada total PARED}} = 2.06 + 1.08 = 3.14 \text{ m}^2$$



Valores factor de luz de día [%]		
DF medio	Dav	2.86
DF mediano	Dm	2.80
DF mínimo	Dmin	0.65
DF máximo	Dmax	6.17

Uniformidad 1	Dmin/Dav	0.23
Uniformidad 2	Dmin/Dmax	0.11
Porcentaje >95%	D95	1.22

NORMA UNE EN-17037_Tabla A.3_ $F_{time, \%} = 50\%$				
Nación	Capital	Latitud [°]	D >100 lx	D >300 lx
España	Madrid	40,45°	0,6%	1,8%
Dinamarca	Copenhague	55,63°	0,7%	2,1%
Noruega	Oslo	59,90°	0,8%	2,4%
Finlandia	Helsinki	60,32°	0,7%	2,2%

-Los valores de iluminancia de 100 y 300 lx se alcanzan en todas las ciudades

7.4.3. Comprobación de los resultados

En la siguiente figura aparecen los resultados obtenidos para los valores de D_{av} , D_m y D_{95} . Además, también aparecen los valores recomendados por la norma UNE EN-17037 de factor de luz diurna mínimos para aberturas horizontales y verticales de las ciudades analizadas. Tablas A.4 y A.3 respectivamente.

		D3	D1 + D3
DF promedio	D_{av}	3.24	2.86
DF mediano	D_m	3.06	2.80
Porcentaje >95%	D_{95}	1.17	1.22

Nación	Capital	Latitud [°]	D >100 lx	D >300 lx
España	Madrid	40,45°	0,6%	1,8%
Dinamarca	Copenhague	55,63°	0,7%	2,1%
Noruega	Oslo	59,90°	0,8%	2,4%
Finlandia	Helsinki	60,32°	0,7%	2,2%

Nación	Capital	Latitud [°]	D >100 lx	D >300 lx
España	Madrid	40,45°	0,3%	0,9%
Dinamarca	Copenhague	55,63°	0,6%	1,7%
Noruega	Oslo	59,90°	0,7%	2,1%
Finlandia	Helsinki	60,32°	0,6%	1,8%

Fig. 26. Tablas resumen para la comprobación de los resultados de D para los valores de D_{av} , D_m y D_{95} .

Como se puede observar con respecto a la abertura D3, se alcanzan todos los valores de factor de luz diurna recomendados por la tabla A.4 para cada una de las ciudades. Además, el porcentaje medio es superior al 3%, por lo que se considera que hay una buena iluminación suficiente para actividades precisas durante bastantes horas al día en estos casos.

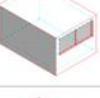
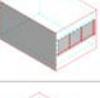
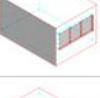
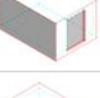
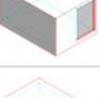
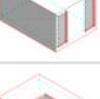
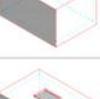
Lo mismo ocurre en la abertura combinada, tras añadirle a la abertura D1 una iluminación cenital de 0,9 x 1,2 m, en el punto central de la cubierta. Los valores del factor de luz diurna se incrementaron considerablemente respecto a los resultados del cálculo de D1 con una superficie acristalada del 10%. Por lo tanto, se puede deducir que, si se combinaran las distintas aberturas del orden de 10% de superficie, con iluminación cenital se alcanzarían los valores mínimos recomendados para todas las ciudades. Por último, en algunos casos como el de D1 + D3 habría iluminación suficiente a lo largo del día, pero podría ser necesario el uso de iluminación artificial dependiendo del nivel de iluminancia que la tarea que se vaya a realizar necesite.

Los sistemas de protección solar en el caso de aberturas horizontales se suelen emplear para filtrar la luz y redistribuirla alrededor de la superficie del local. Además, en este tipo de sistemas de iluminación no existe tanto riesgo de deslumbramiento direccional como ocurre en los sistemas de iluminación lateral.

8. TABLAS RESUMEN DE LOS CASOS ANALIZADOS

A continuación, se muestran unas tablas que muestran si se cumplen o no las iluminancias mínimas de 100 lx y 300 lx recomendadas por la norma UNE EN-17037 para las aberturas analizadas en los apartados anteriores. Estas aberturas se definen en relación con la superficie de acristalamiento respecto a la superficie del suelo, y con la posición de la abertura respecto a la fachada.

		CIUDADES ANALIZADAS								
		VALENCIA		OSLO		COPENHAGUE		TAMPERE		
		100 lx	300 lx	100 lx	300 lx	100 lx	300 lx	100 lx	300 lx	
TIPOS DE ABERTURAS $S_{10\%}$	A0		No	No	No	No	No	No	No	No
	A1		No	No	No	No	No	No	No	No
	A2		No	No	No	No	No	No	No	No
	B0		No	No	No	No	No	No	No	No
	B1		No	No	No	No	No	No	No	No
	B2		No	No	No	No	No	No	No	No
	B3		Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
	C0		No	No	No	No	No	No	No	No
	C1		No	No	No	No	No	No	No	No
	C2		No	No	No	No	No	No	No	No
	D1		No	No	No	No	No	No	No	No

		CIUDADES ANALIZADAS								
		VALENCIA		OSLO		COPENHAGUE		TAMPERE		
		100 lx	300 lx	100 lx	300 lx	100 lx	300 lx	100 lx	300 lx	
TIPOS DE ABERTURAS S _{20%}	A0		Si	No	No	No	Si	No	Si	No
	A1		Si	No	No	No	Si	No	Si	No
	A2		Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	No
	B0		Si	Si	No	No	Si	No	Si	No
	B1		Si	Si	Si	No	Si	Si	Si	Si
	B2		Si	No	No	No	No	No	No	No
	C0		Si	No	No	No	Si	No	Si	No
	C1		Si	No	No	No	No	No	No	No
	C2		Si	No	No	No	No	No	No	No
	D1		No	No	No	No	No	No	No	No
ABERTURAS S _{7%} Y S _{10%}	D3		Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si
	D1 + D3		Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si

9. CONCLUSIONES

El objetivo principal de este trabajo de investigación era el de relacionar el espacio habitado con la luz natural. Tras realizar el presente trabajo, en el que se han realizado una serie de estudios, se han obtenidos una serie de conclusiones que resaltan la importancia de la iluminación natural en la arquitectura. A continuación, se exponen las conclusiones que se han establecido.

En primer lugar, hay que comprender que la arquitectura y la luz natural son dos elementos que deben funcionar como uno solo. La arquitectura que percibimos viene definida por la luz. Sin embargo, la luz es un material permanente que no se puede modificar, por lo que se deben tener unos conocimientos básicos para ser capaz de diseñar los espacios arquitectónicos para que estos se adapten a la luz.

En segundo lugar, la luz natural viene definida por las características del contexto geográfico en la que se encuentre nuestra edificación. De esta forma, el diseñador debe realizar un estudio meticuloso, durante los primeros pasos del diseño del edificio, sobre el clima luminoso y las diferentes fuentes de luz natural del emplazamiento del proyecto. Una vez estos conocimientos han sido adquiridos, es necesario continuar estudiando los diferentes elementos arquitectónicos para favorecer el acceso de la luz en el espacio. Además, es importante comprender las propiedades físicas de cada uno de estos elementos, así como sus ventajas y desventajas a la hora de iluminar un espacio para encontrar la correcta elección para cada una de las situaciones en las que se pueda encontrar nuestro edificio.

Esta diferencia ha quedado claramente contrastada en los casos de estudio analizados. En estos se ha demostrado como, para una superficie de acristalamiento común para todos los casos, la posición de la abertura sobre la fachada juega un papel importante a la hora de iluminar un espacio. Sobre esto se concluye que cuanto más alta y centrada este la abertura con respecto de la fachada, mayores niveles de iluminancia habrá en el interior del edificio. Sin embargo, esto se concluye para un método de cálculo sencillo que solo tiene en cuenta distribución lumínica difusa. Por lo tanto, es necesario realizar cálculos más exactos a la hora de proyectar teniendo en cuenta condiciones como la radiación solar directa y el deslumbramiento y las pérdidas y ganancias de energía.

En tercer lugar, se han establecido unos criterios que demuestran como el diseño lumínico difiere en gran medida dependiendo del contexto geográfico. En los casos estudiados se observa como el contexto geográfico situado más al sur, la ciudad de Valencia, no tiene unas condiciones de clima tan estrictas como las situadas al norte.

De esta forma, se muestra como para aquellos lugares que tienen un mayor porcentaje de cielo cubierto al año, como serían las ciudades de Oslo, Copenhague y Tampere, es recomendable el uso de aberturas horizontales cenitales o bien sistemas de iluminación combinados. Mientras que, para el caso de Valencia, es suficiente con aberturas cuya superficie es del 20% de la superficie del suelo.

En cuarto lugar, aunque simplemente se mencionan en este trabajo, es importante tener conocimientos sobre los diferentes tipos de control de la luz natural para el diseño final del edificio. Además, un estudio correcto sobre el diseño de la iluminación interior afecta directamente con el confort y bienestar de las personas que ocupan ese espacio.

Es importante mencionar que los resultados obtenidos en este trabajo de investigación no tienen como objetivo presentar un resultado definitivo, sino que pretende ser un modelo de guía para un correcto diseño de un edificio con iluminación natural, y sacar el mayor provecho de esta. De tal forma que el lector adquiriera unos conocimientos básicos sobre la iluminación para futuros proyectos.

En definitiva, como se ha visto a lo largo de este trabajo de investigación, la realización de un correcto diseño de iluminación natural no solo puede aportar unos niveles de iluminancia satisfactorios para las tareas que se realizan en el edificio, sino que también afectan al confort y bienestar de los ocupantes, así como conseguir un ahorro energético considerable.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

_ACOSTA, Eduardo. *Diseño de ventanas II*. Daylight in architecture, 2013. Acceso online: <<http://arcdaylight.blogspot.com/2013/03/disen-de-ventanas-ii.html>>

_ACOSTA, Ignacio y Jaime Navarro. *Daylighting design with lightscoop skylights: Towards an optimization of shape under overcast sky conditions*. Sevilla: Universidad de Sevilla, 2013. Acceso online: <https://www.researchgate.net/publication/257227552_Daylighting_design_with_lightscoop_skylights_Towards_an_optimization_of_shape_under_overcast_sky_conditions>

_ARQUITECTURABIO. *La luz natural y su importancia en la arquitectura*. Arquitectura Bio, 2018. Acceso online: <<https://arquitectura.bio/la-luz-natural-la-arquitectura/>>

_CIE (Comité Español de Iluminación). *Guía Técnica. Aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios*. Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2005.

_CORFO, InnovaChile. *El Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos parte 2*. Santiago de Chile: Instituto de la Construcción de Santiago de Chile, 2012.

_DIEPENS, Jan. *Daylight Design Variations Book*. 2000. Acceso online: <<http://jandiepens.nl/varbook/index.htm>>

_EDMONDS, Ian y Jens Christoffersen. *Daylight in buildings – A source book on daylighting systems and components*. IEA (International Energy Agency), 2000. Acceso online: <https://www.researchgate.net/publication/37410170_Daylight_in_Buildings_-_A_source_book_on_daylighting_systems_and_components>

_GUADARRAMA, Cecilia y Daniel Bronfman. *Sobre la luz natural en la arquitectura*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2015.

_MARTÍN Monroy, Manuel. *Manual de iluminación. Manual de diseño ICARO*. Las Palmas de Gran Canaria: Ayuntamiento de las Palmas de Gran Canaria, 2003-2006. Acceso online: <<https://issuu.com/casilisto/docs/name6571e4>>

_MENESES Bedoya, Edgar Alonso. *La representación de la luz natural en el proyecto arquitectónico*. Barcelona: Escuela Técnica superior de Arquitectura de, 2015.

_OVACEN. *Iluminación natural en la arquitectura. La luz natural y su efecto en un ejemplo de iluminación directa interior. Manuales, herramientas y guías*. Ovacen, 2016. Acceso online: <<https://ovacen.com/iluminacion-natural-en-arquitectura/>>

_PLUMMER, Henry. *La arquitectura de la luz natural*. Barcelona: Blume, 2009.

_PRIETO, Gonzalo. *El reparto de las horas de sol en el mundo*. Geografía infinita, 2017. Acceso online: <<https://www.geografiainfinita.com/2017/07/reparto-las-horas-sol-mundo/>>

_ROTO. *Iluminación natural de habitaciones con ventanas*. Roto Inside, 2017. Acceso online: <<https://www.rotofrank-aluvisión.com/iluminación-natural-con-ventanas/>>

_ROY, Nicolas y Jens Chritoffersen. *Daylight calculations in practice: An investigation of the ability of nine daylight simulation programs to calculate the daylight factor in five typical rooms*. Aalborg, Danish Building Research Institute, Aalborg University, 2013. Acceso online: <https://www.researchgate.net/publication/283357163_Daylight_calculations_in_practice_An_investigation_of_the_ability_of_nine_daylight_simulation_programs_to_calculate_the_daylight_factor_in_five_typical_rooms>

_SEISCUBOS. *Métodos de análisis estáticos*. Seiscubos, 2020. Acceso online: <<https://www.seiscubos.com/conocimiento/metodos-de-analisis-estaticos>>

_TANTERI, Matthew. *Mastering Sidelight. The interrelationship between a daylight source, windows, and room*. Architectural Lighting, 2007. Acceso online: <https://www.archlighting.com/technology/mastering-sidelight_o>

_TAPIA, Antonia, *Iluminación natural en los espacios arquitectónicos*. México: Energy Management, 2014. Acceso online: < <https://e-management.mx/iluminación-natural-en-los-espacios-arquitectonicos/>>

_VÉLIZ Gómez, Boris. *Iluminación Natural. La luz, confort, métrica y diseño*. Valencia: Arquitectura Véliz.

_VELUX. *Cálculos y mediciones de luz diurna*. Velux, 2014. Acceso online: <<https://www.velux.com/what-we-do/research-and-knowledge/deic-basic-book/daylight/daylight-calculations-and-measurements#section1.7.3>>

_VILLABLOG. *Ilumina tu espacio con luz natural*. Villasi Construcciones, 2019. Acceso online: <<https://villasi.com/blog/?p=101>>

11. ÍNDICE DE IMAGENES

_Figura 1. Espectro de radiación electromagnética y espectro visible.

Edgar Alonso Meneses. *La representación de la luz natural en el proyecto arquitectónico*. Barcelona: Escuela Técnica superior de Arquitectura de Barcelona, 2015. 30

_Figura 2. Magnitudes y propiedades de la luz

Autor desconocido. *Diferencia entre luminancia e iluminancia*. AQ instruments.
Fuente: www.aquatecnica.com/diferencia-entre-luminancia-e-iluminancia/

_Figura 3. Análisis del factor de luz de día en un recinto interior

Oriana Ponzini. *Análisis de un proyecto de iluminación natural*.
Fuente: www.opiluminacion.cl/

_Figura 4. a. Espacio interior del Kimbell Art Museum. b. Sistema que integra la estructura y la iluminación.

Louis Kahn. *Kimbell Art Museum*. Visita Forth Worth, 2020.

Fuente: <https://www.visitafortworth.com/que-hay-en-fw/item/kimbell-art-museum-2;>

Jon Pennington. 2014. 6-7

Fuente: https://issuu.com/jonp91/docs/kimbell_case_study/6

_Figura 5. Imágenes interior y exterior de la Villa Mairea. La luz filtrada y el contraste entre la madera y el color blanco.

Escabel. *Arquitectura: Alvar Aalto*. Escabel, 2017.

Fuente: <https://www.escabel.es/inspiracion/arquitectura-alvar-aalto/>

_Figura 6. Imágenes del interior de la Casa Koshino, 1980-1984.

Quadratura Arquitectos. *Casa Koshino. Vivienda unifamiliar por Tadao Ando, una arquitectura de luz*. 2012

Fuente: <http://www.quadraturaarquitectos.com/blog/index.php/2012/01/casa-koshino-1980-vivienda-unifamiliar-por-tadao-ando-una-arquitectura-de-luz/>

_Figura 7. Imágenes del interior y exterior de la Casa Asencio, 1999-2001.

Página Oficial de Alberto Campo Baeza. 2001 CASA ASECIO.

Fuente: <https://www.campobaeza.com/es/asencio-house/>

_Figura 8. Tipos de fuentes de luz natural.

Manuel Martín Monroy. *Manual de iluminación. Manual de diseño ICARO*. Las Palmas de Gran Canaria: Ayuntamiento de las Palmas de Gran Canaria, 2003-2006. 26

Fuente: <https://issuu.com/casilisto/docs/name6571e4>

_Figura 9. Representación de diferentes tipos de distribución de luminancias en el cielo.

Comité Español de Iluminación (CIE). *Guía Técnica. Aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios*. Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2005. 15

_Figura 10. *a.* Distribución de la iluminancia con aberturas sobre el plano de trabajo; *b.* Distribución de la iluminancia con aberturas en la pared.

Edgar Alonso Meneses. *La representación de la luz natural en el proyecto arquitectónico*. Barcelona: Escuela Técnica superior de Arquitectura de Barcelona, 2015. 43

_Figura 11. Distribución luminosa de diferentes tipos de aberturas, en este caso ventanas.

Bernardo Echevarría Vial. *Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos*. Santiago de Chile: Instituto de la Construcción de Santiago de Chile, 2012. 109

_Figura 12. Tipos de reflexión.

Elaboración propia. Esquemas de los diferentes tipos de reflexión de la luz sobre una superficie.

_Figura 13. *a.* Esquema de análisis lumínico simple. *b.* Esquema de análisis lumínico complejo. *c.* Esquema de visibilidad del objetivo.

Edgar Alonso Meneses. *La representación de la luz natural en el proyecto arquitectónico*. Barcelona: Escuela Técnica superior de Arquitectura de Barcelona, 2015. 48

_Figura 14. Estrategias para el uso eficiente de la luz solar.

Edgar Alonso Meneses. *La representación de la luz natural en el proyecto arquitectónico*. Barcelona: Escuela Técnica superior de Arquitectura de Barcelona, 2015. 48

_Figura 15. Sistemas de iluminación natural.

Esquema de elaboración propia.

_Figura 16. *a.* Profundidad de la luz natural.

InnovaChile CORFO. *El Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos parte 2*. Santiago de Chile: Instituto de la Construcción de Santiago de Chile, 2012. 103

_Figura 16. *b.* Claves del diseño de las aberturas para la obtención de un mayor beneficio de la luz natural.

InnovaChile CORFO. *El Manual de Diseño Pasivo y Eficiencia Energética en Edificios Públicos parte 2*. Santiago de Chile: Instituto de la Construcción de Santiago de Chile, 2012. 104

_Figura 17. Recomendaciones de cantidad de iluminación.

EN-17037. *Iluminación natural de los edificios*. Madrid: UNE, 2020. Tabla A.1. 18

_Figura 18. Valores de D para aberturas de luz para exceder el nivel de iluminancia de 100, 300, 500 o 750 lx.

EN-17037. *Iluminación natural de los edificios*. Madrid: UNE, 2020. Tabla A.3. 19

_Figura 19. *a.* Distribución de D en la habitación. *b.* Valores de D obtenidos tras el cálculo.

Cálculos de elaboración propia.

_Figura 20. Modelo A0 del modelo con el Factor de Iluminación Natural.

_Figura 21. Tipos de aberturas laterales

Esquema de elaboración propia. Aberturas con una superficie del 10%.

_Figura 22. Ejemplo de caso de estudio.

Elaboración propia. Imagen que muestra la maquetación de las fichas de cálculo.

_Figura 23. Tipos de aberturas laterales con una superficie del 20%.

Esquema de elaboración propia.

Figura 24. Tabla resumen de los resultados de D para los valores de D{av} , D_m y D_{95} .

Tablas de elaboración propia.

_Figura 25. Tipos de aberturas cenitales

Tablas de elaboración propia.

Fig. 26. Tablas resumen para la comprobación de los resultados de D para los valores de D{av} , D_m y D_{95} .

Tablas de elaboración propia.