



**LUZ NATURAL Y ARQUITECTURA:
PERFORACIONES EN FACHADA Y SU INFLUENCIA
SOBRE EL REPARTO DE LUZ EN EL ESPACIO
INTERIOR.**

Trabajo de Fin de Master

Autor: Magaly del Pilar Gayoso Carranza

Tutora: Helena Coch Roura

MBArch Arquitectura, Energía y
Medio Ambiente

Universidad Politécnica de Cataluña
Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Barcelona, 2020

AGRADECIMIENTOS

A la fundación Oli, por el respaldo otorgado que ha
hecho posible continuar con mi formación
académica.

A mis profesores y compañeros de estudios, por
hacer de este tiempo una experiencia inolvidable.

A mi tutora Helena Coch, por su compromiso y
apoyo para desarrollar el presente estudio.

A Orla, por la paciencia y por enseñarme a ver todo
desde otra perspectiva.

A mi familia, por acortar las distancias y siempre
creer en mí.

RESUMEN

La arquitectura y la luz están íntimamente relacionadas. La luz ingresa a los espacios a partir de perforaciones en su envolvente y proporciona al usuario beneficios en su salud y rendimiento. El diseño de la composición de fachadas, además de un abordaje estético, permite la manipulación de la luz diurna.

La investigación busca comprobar que las distintas disposiciones de perforaciones en fachadas, influyen sobre la homogeneidad del reparto de la luz al interior de los espacios. Para demostrarlo se clasifican tres tipologías de perforaciones y se realiza un análisis comparativo, en recintos con las mismas condiciones.

El estudio detalla cuales son los componentes implícitos en el proceso de la iluminación natural en la arquitectura, para definir variables que puedan ser comparables.

La metodología empleada consiste en generar simulaciones, que evidencian los niveles de *Daylight Factor* al interior de los recintos, y la forma de repartición de la luz. Se comparan los resultados con distintos ángulos de *Sky View Factor* para determinar si esta variable genera diferencias significativas entre los modelos analizados.

Se concluye que, con el mismo porcentaje de perforación, múltiples perforaciones en fachada propician una distribución más homogénea de la luz, pero es menos profunda. Por ello, el abordaje arquitectónico debe tomar en cuenta no sólo estándares mínimos de iluminancia interior sino, considerar un diseño con una correcta repartición de la luz según la función a realizar.

PALABRAS CLAVE:

Iluminación natural / Repartición de la luz / Iluminancia / *Daylight Factor*

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	6
0.1 OBJETIVOS	7
0.2 HIPÓTESIS.....	7
0.3 ESTRUCTURA DEL TRABAJO	7
CAPÍTULO 1: ESTADO DEL ARTE.....	8
1.1 LA LUZ.....	8
1.1.1. Física: naturaleza y propagación	8
1.1.2. Fisiología.....	9
1.1.3. Iluminación y salud	10
1.1.4. Sol y cielo: radiación y luz difusa.....	11
1.1.5. Luz natural vs. Luz artificial.....	12
1.1.6. Magnitudes lumínicas	13
1.1.7. Propiedades ópticas de la materia.....	14
1.2 EVALUACIÓN LUMÍNICA.....	15
1.2.1. Confort visual.....	15
1.2.2. Daylight Factor	17
1.3 ILUMINACIÓN NATURAL EN LA ARQUITECTURA.....	19
1.3.1. Componentes de la luz natural	20
1.3.2. Geometría del espacio e iluminación	21
1.3.3. Perforaciones en los planos verticales– Componentes de paso	22
1.4 CLASIFICACIÓN DE TIPOLOGÍAS	25
1.4.1. Tipo A - Singular.....	26
1.4.2. Tipo B - Rítmica.....	28
1.4.3. Tipo C - Reticular.....	30
CAPÍTULO 2: PROPUESTA.....	33
2.1 VARIABLES DE ANÁLISIS	33
2.2 DETERMINACIÓN DEL MODELO DE ESTUDIO.....	34
2.2.1. Contexto	34
2.2.2. Geometría del recinto.....	35
2.2.3. Tipologías de perforación	36
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA	40
3.1. SIMULACIÓN LUMÍNICA	40
3.1.1. Software DIALux.....	40
3.1.2. Parámetros de simulación	41

3.2. RANGOS DAYLIGHT FACTOR.....	42
CAPÍTULO 4: RESULTADOS	43
4.1. VALORES DE DAYLIGHT FACTOR OBTENIDOS	43
4.1.1. Noveno nivel.....	43
4.1.2. Quinto nivel.....	49
4.1.3. Primer nivel.....	55
CAPÍTULO 5: ANÁLISIS COMPARATIVO	61
5.1. VALORES MÍNIMOS Y MÁXIMOS DE DF.....	61
5.2. COMPARACIÓN ENTRE MEDIA Y MEDIANA.....	62
5.3. ÁREAS SEGÚN RANGO DE DF	64
5.4. CURVA DE ILUMINACIÓN	65
5.5. DISTRIBUCIÓN DE LA LUZ	68
5.6. FACTOR DE UNIFORMIDAD.....	70
CONCLUSIONES.....	72
LÍNEAS ABIERTAS DE INVESTIGACIÓN	73
BIBLIOGRAFÍA	74
ÍNDICE DE FIGURAS.....	79
ÍNDICE DE TABLAS.....	83
ANEXOS	84

INTRODUCCIÓN

A room is not a room without natural light. Natural light gives the time of day and the mood of the seasons to enter.

L. Kahn

La luz en la arquitectura ha sido un elemento clave para conseguir el bienestar de quien la habita. La visión es un sentido fundamental para experimentar la arquitectura y la luz es el medio que nos permite revelar el espacio, sus contornos, colores y texturas.

A lo largo de la historia, la disposición de edificios, su forma y perforaciones estaban determinados por la necesidad de permitir el ingreso de la luz natural, por ello cada arquitectura según su latitud y orientación tenía un lenguaje distinto. Sin embargo, con la aparición de la iluminación artificial se perdió la práctica en el manejo y aprovechamiento de la luz natural y se normalizó el uso de luz artificial.

Actualmente los arquitectos conciben el diseño de la iluminación natural como un asunto de sentido común, repetición de experiencias previas, o simplemente se da prioridad a la estética de composición en las fachadas. En muchos casos sin tener en cuenta la verdadera repercusión de estas decisiones y confiando que la iluminación artificial suplirá la demanda.

La luz artificial tiene un espectro distinto a la luz natural, y, aunque la cantidad de energía sea la misma, el cuerpo humano puede diferenciarlos. Por ello, además de ser la fuente más antigua, eficiente, y económica ambientalmente, la luz natural tiene un impacto directo sobre nuestra salud permitiendo regular el ciclo circadiano.

La vivienda es el cobijo del ser humano. La luz natural ingresa a la arquitectura a través de los cerramientos exteriores y, de entre ellos, en este trabajo se van a estudiar los situados en los planos verticales de las edificaciones.

La demanda de edificaciones en las ciudades y el costo del valor del terreno han propiciado que los edificios tiendan a ser compactos. La cantidad de luz natural que ingresa a un edificio depende de factores internos y externos que el diseño arquitectónico debe considerar para propiciar el confort visual de los ocupantes.

0.1 OBJETIVOS

El objetivo principal de la investigación es evaluar el comportamiento lumínico de las perforaciones en fachadas para conocer su repercusión en la distribución de la luz natural al interior de los recintos.

Objetivos específicos:

- Investigar las variables que componen la iluminación natural y los sistemas de iluminación.
- Identificar y caracterizar perforaciones laterales en referentes arquitectónicos para definir tipologías.
- Establecer una comparación cuantitativa y cualitativa de la diferencia en la repartición de la iluminación diurna en el interior de un recinto, con distintos tipos de perforación en fachada.

0.2 HIPÓTESIS

Con la misma superficie de paso, las fachadas que propongan múltiples perforaciones tendrán una distribución de la luz más homogénea al interior de los recintos, que las que proponen solo una.

0.3 ESTRUCTURA DEL TRABAJO

En la primera parte del capítulo 1, se exponen conceptos teóricos sobre luz, se define qué es la luz diurna y sus diferencias con la iluminación artificial. En la segunda parte del capítulo se exponen herramientas de medición. La tercera, se refiere a la relación entre la luz natural con la arquitectura y los componentes de paso que permiten su ingreso. Al final del capítulo, se realiza un trabajo de clasificación de perforaciones según su disposición que concluye en la definición de tres tipologías.

En el segundo capítulo, se delimitan las variables que se tomarán en cuenta para el análisis y se definen los modelos de estudio. Posteriormente (cap.3) se describe la metodología empleada para evaluar la forma de distribución de la luz.

En el capítulo 4 se describen los resultados de la investigación detallando las áreas ocupadas por distintos rangos de *Daylight Factor*. En el último capítulo, se realiza un análisis comparativo que deriva en las conclusiones del estudio.

CAPÍTULO 1: ESTADO DEL ARTE

1.1 LA LUZ

Para entender la relación entre la luz, la arquitectura y el ser humano se debe pensar en el proceso perceptivo. La percepción involucra un conjunto de fenómenos que nos informan sobre las características del entorno que nos rodea.

El conocimiento de este proceso es esencial para el diseño arquitectónico. Su análisis se puede abordar desde el nivel físico, fisiológico y psicológico.

1.1.1. Física: naturaleza y propagación

La luz, es una onda electromagnética que se desplaza a 300 000 km/s. El espectro visible es una pequeña región de la radiación que es sensible a la retina y percibida por el ojo humano, comprende ondas con una longitud entre 380(rojo) y 780(azul)nm. Las longitudes de onda superiores a 780 nm son radiaciones infrarrojas (transmitidas en forma de calor), ondas de radio, radar, televisión y microondas; mientras que las longitudes inferiores a 400 nm son los rayos ultravioletas, rayos x y rayos gamma.

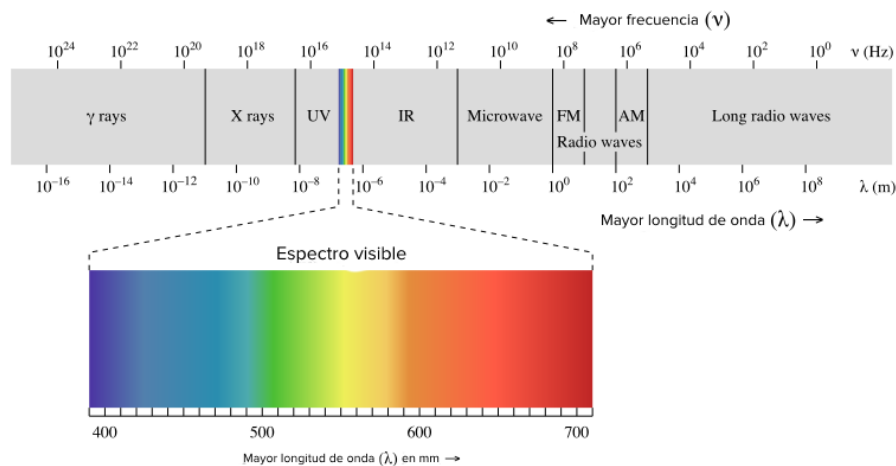
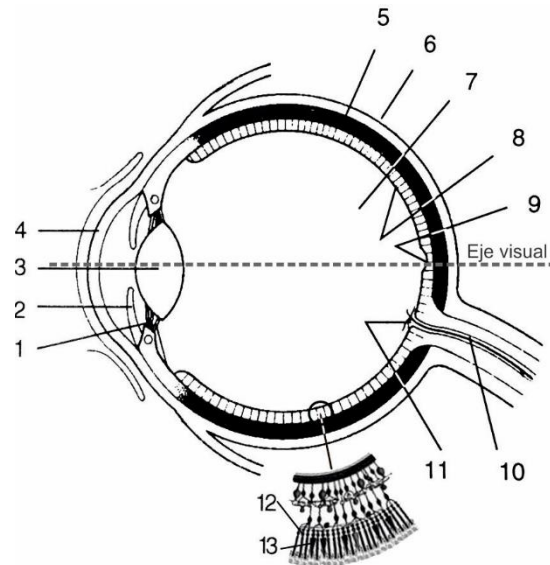


Figura 1. Espectro de radiación electromagnética y espectro visible de la luz. Fuente: (Patel et al., 2020)

1.1.2. Fisiología

La visión es la herramienta que nos permite interpretar el mundo exterior mediante la información llevada por los ojos hacia el cerebro. El ojo, que actúa como un receptor sensible de la luz, está conformado por un grupo óptico (córnea, iris, pupila y cristalino), una zona fotorreceptora (retina) y elementos accesorios encargados de protección, transmisión de información nerviosa, etc.

En función a la cantidad de luz disponible, las pupilas ajustan su tamaño de manera que la luminancia que llega a la retina sea tolerable, a este proceso se le denomina adaptación ya que permite mejorar la percepción visual al cabo de un tiempo determinado. Según las células fotorreceptoras que intervienen en el proceso, la visión se clasifica tres tipos: fotópica o diurna, escotópica o nocturna y mesópica (Feijó Muñoz, 1994).



1. Músculo ciliar 2. Iris 3. Cristalino 4. Córnea 5. Coroides 6. Esclera 7. Humor vítreo 8. Retina 9. Fóvea 10. Nervio óptico 11. Punto ciego 12. Bastoncillos 13. Conos

Figura 2. Sección horizontal del ojo humano. Fuente: Elaboración propia en base a (Baker et al., 1993)

La visión fotópica se caracteriza por su gran nitidez, precisión y rápida percepción de contraste y colores. En ella las células que intervienen son los conos y se da cuando existen altos niveles de luminancia, por encima de los 200 cd/m^2 . En contraposición, en la visión escotópica es posible ver, pero sin color y con baja precisión. Las células que intervienen son los bastoncillos y se da cuando los niveles de luminancia son bajos, inferiores a 1 cd/m^2 . Finalmente, la visión mesópica se da cuando la luminancia está en una situación intermedia a las antes mencionadas, en ella trabajan conjuntamente los conos y bastoncillos.

En el proceso perceptivo no vemos solo lo que nos muestran nuestros ojos, sino que “somos capaces de percibir significados y atribuir un carácter a lo que estamos viendo. Se trata de una interpretación que se realiza en nuestro cerebro de modo inconsciente.”(Lopez Besora, 2010)

1.1.3. Iluminación y salud

Las necesidades básicas para que un espacio tenga un impacto positivo sobre la salud física y mental de las personas incluyen un ciclo de iluminación de 24 horas con periodos de oscuridad y alta iluminación, exposición a iluminación natural, contacto con el exterior y evitar deslumbramientos (Tregenza & Wilson, 2011).

Los seres humanos estamos dominados por ritmos de 24 horas que tienen impacto en nuestra salud y bienestar, controlan nuestros ciclos de sueño, estado de alerta, rendimiento, así como la producción de melatonina y cortisol (Pechacek et al., 2008). Estos ciclos se denominan ritmos circadianos y la dinámica de la variación de la luz tiene un papel fundamental para regularla. La falta de luz natural por largos periodos puede generar un desorden estacional afectivo-SAD (*Seasonal Affective Disorder*) manifestándose con letargo o depresión.

- **Ritmos biológicos circadianos**

Etimológicamente el nombre proviene del latín *circa*=alrededor y *diano*=día, está referido a las variaciones fisiológicas de nuestro organismo asociadas con cambios rítmicos ambientales de la luz natural. El sistema endocrino y el sistema nervioso central son los dos principales sistemas de comunicación del organismo que producen hormonas que coordinan nuestras funciones vitales.

La melatonina, hormona endocrina, responde a los estímulos lumínicos que varían durante el día; promueve el estado de sueño y se ha detectado que la cantidad secretada tiene un ritmo diario, es baja al amanecer, se incrementa por la tarde y llega a su máximo nivel durante la noche. El cortisol, secretado por las glándulas suprarrenales, es relativamente bajo en la noche, permitiéndonos descansar, y más alto en el día para estabilizar los niveles de energía.

Según Laura Murguía, los ritmos de vigilia-sueño y el ritmo de la temperatura corporal se mantienen sincronizados en los ciclos de 24 horas.

Las personas en un ambiente natural se van a dormir cuando la curva de su temperatura corporal empieza su descenso diario. Y cuando hablamos de actividad, su mayor rendimiento coincide con las temperaturas más altas. Cuando hablamos de variaciones en la temperatura corporal a lo largo del día, nos estamos refiriendo a un rango comúnmente menor a 1°C (por ejemplo, entre 36.4°C en su punto más bajo y 37.4°C en su punto más alto). (Murguía Sánchez, 2003, p.43)

Además, el rendimiento físico y/o intelectual no es uniforme a lo largo del día, sino que presenta una clara periodicidad circadiana. Por ello cambios en el ciclo pueden afectar nuestra productividad.

El ciclo circadiano puede verse desincronizado por diversos factores y pueden provocar daños a la salud de los seres humanos. Por ejemplo “la utilización del alumbrado artificial es un elemento que también puede llegar a desincronizar nuestros ritmos biológicos” (Murguía Sánchez, 2003, p.43)

La luz no es solo fundamental para percepción visual sino que estudios sugieren que parte de la retina, sin función en la visión, sirve como receptor de ondas de luz que son transportadas a través de fibras del nervio óptico hacia las principales glándulas endocrinas que controlan todo el sistema metabólico (Baker et al., 1993), es decir que la luz natural está directamente relacionada con la salud.

Se ha demostrado que iluminación natural tiene un impacto positivo en el tiempo de recuperación de pacientes en hospitales (Choi et al., 2012), tiene un efecto beneficioso sobre el estado de ánimo y productividad laboral en adultos en oficinas (Partonen & Lonqvist, 2000).

En conclusión, la luz y la oscuridad tienen un rol fundamental en nuestra vida, la iluminación natural es insustituible y un buen manejo de ella en el diseño arquitectónico puede mejorar la calidad de vida de los usuarios

1.1.4. Sol y cielo: radiación y luz difusa

Las dos componentes luminosas que alcanzan la superficie terrestre son: la luz solar directa (radiación) y la luz difusa de la atmósfera (bóveda celeste).

El sol, fuente luminosa natural por excelencia, genera asoleamiento e iluminación. Cuando la radiación solar alcanza la atmósfera terrestre, una parte de esta es redirigida de su dirección original, por moléculas del aire, partículas del agua y polvo suspendido en el aire; y es difundida en la atmósfera generando luz difusa. Mediciones en distintas latitudes han demostrado que la luz difusa representa del 38% al 70% de la radiación solar global (Lou et al., 2019)

El cielo es la atmósfera de la tierra iluminada por el flujo de la energía del sol, la iluminación generada depende de su luminancia. La intensidad de iluminación de luz solar directa varía según el espesor de

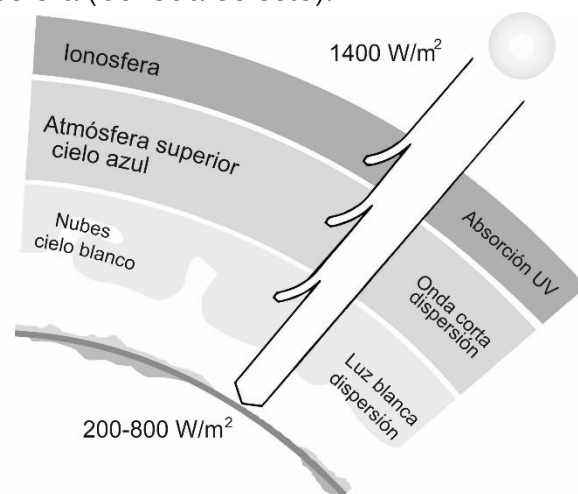


Figura 3. Dispersión de la luz solar a través de la atmósfera. Fuente: Elaboración propia en base a (Baker & Steemers, 2002)

masa de aire que debe atravesar (Baker et al., 1993). Los componentes atmosféricos varían con el clima, tiempo y latitud por lo que el cielo cambia de brillo y color, no es constante.

En los cálculos de iluminación natural se utiliza generalmente la componente difusa, al considerarla la principal fuente de iluminación natural. Al ser variable, ha sido necesario establecer modelos de cielo estándar que permitan comparar el comportamiento de la luz.

El modelo más simple es el “Cielo con distribución uniforme de luminancia” que hace referencia a un día con situación meteorológica de cielo nublado, cubierto con nubes, y polvo en la atmósfera, donde el sol no es visible. Otro modelo es el propuesto por la CIE (Commission Internationale de l’Eclairage) denominado el “CIE- Cielo nublado estándar” que corresponde a un cielo cubierto con nubes en una atmósfera sin polvo, donde el sol no es visible.

1.1.5. Luz natural vs. Luz artificial

La luz natural es una fuente luminosa que no es constante y su disponibilidad varía, por lo que la luz artificial surge como complemento. La luz artificial ha evolucionado desde el fuego, las velas, lámparas de aceite, hasta la luz eléctrica. A principios del siglo XVIII el uso de lámparas de gas permitió que sin la presencia de luz natural se puedan iluminar los espacios interiores.

A partir de la aparición de la lámpara eléctrica con filamento de carbón se inició una búsqueda con el objetivo de crear lámparas que simulen la radiación solar con la mayor eficacia. Si al inicio la luz artificial buscaba ser un complemento de la luz natural posteriormente, en muchos casos, busca suplirla, lo cual es un error ya que la luz natural favorece la salud del ser humano y, además, el espectro visible y la variación de la temperatura de color no son comparables.

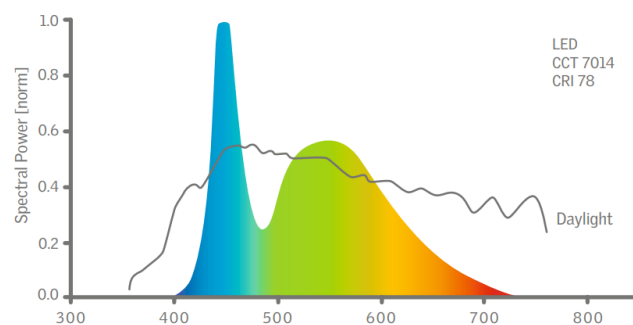


Figura 4. Diferencia del espectro de la iluminación natural vs una lámpara LED. Fuente:(Andersen, 2014)

A pesar de los avances tecnológicos, la luz artificial no ha conseguido el mismo espectro de la luz natural.

La cantidad de luz natural que ingresa a un edificio y la forma como se reparte, depende de factores internos y externos que el diseño arquitectónico debe considerar para propiciar el confort visual de los ocupantes y evitar el uso indiscriminado de iluminación artificial. Se debe entender que la luz artificial complementa a la natural y no la sustituye.

En el año 2005 el consumo mundial de electricidad para iluminación residencial fue de 811 TWh, que representa el 18% del consumo eléctrico residencial (EIA, 2006). Por ello el uso de la iluminación natural ha sido promovido por la Comisión Internacional de Energía- CIE como un medio para reducir el consumo energético en iluminación y propiciar el confort visual de las personas. Un buen manejo de la luz natural en el diseño arquitectónico supone un potencial de ahorro de energía.

1.1.6. Magnitudes lumínicas

Son un caso particular de unidades de la radiación, permiten cuantificar la radiación electromagnética a la que es sensible el ojo humano. Feijó (1994) las describe de la siguiente manera.

- **Flujo luminoso (Φ):** Es la cantidad de energía radiante emitida por una fuente en la unidad de tiempo. Su unidad es el lumen.

$$\Phi = I \cdot \omega$$

- **Intensidad luminosa (I):** Se define como la relación entre el flujo emitido, en una determinada dirección, por una fuente luminosa y el ángulo sólido en que se emite. Su unidad es la candela (cd).

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

- **Iluminancia (E):** Es la relación que existe entre el flujo luminoso emitido por una fuente y la superficie que la recibe. Su unidad es el lux (lx) que es igual a un Watt por metro cuadrado (W/m²)

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

- **Luminancia (L):** Es la relación que existe entre la intensidad luminosa y la superficie aparente, vista por el ojo en una dirección determinada. La percepción de la luz es realmente la percepción de diferencias de luminancias. Su unidad es la Candela/metro cuadrado (cd/m²)

$$L = \frac{I}{S_{\text{aparente}}}$$

1.1.7. Propiedades ópticas de la materia

Nuestra percepción del espacio arquitectónico se basa principalmente en el reflejo de la luz en las superficies, gran parte de la luz que proporciona una iluminación útil para la realización de tareas en una habitación no proviene directamente de la fuente, sino de la reflexión en las superficies.

Por ello es necesario examinar la reflexión y transmisión, como fenómenos generados por la incidencia de la luz en los materiales.

- **Reflexión:** Es la cualidad superficial de devolver al espacio la luz recibida y en función a la textura de una superficie se pueden producir tres tipos de reflexión:

Reflexión especular o regular. Es aquella que se produce en superficies pulidas y en donde el rayo incidente y el rayo reflejado se encuentran en un mismo plano y con un mismo ángulo.

Reflexión Difusa. Se produce en superficies rugosas cuyas partículas están orientadas en distintos planos. El rayo reflejado está en función de la variedad de planos y texturas de la superficie.

Reflexión mixta o dispersa. Es una combinación entre la reflexión especular y difusa y puede marcar una tendencia a una de ellas.

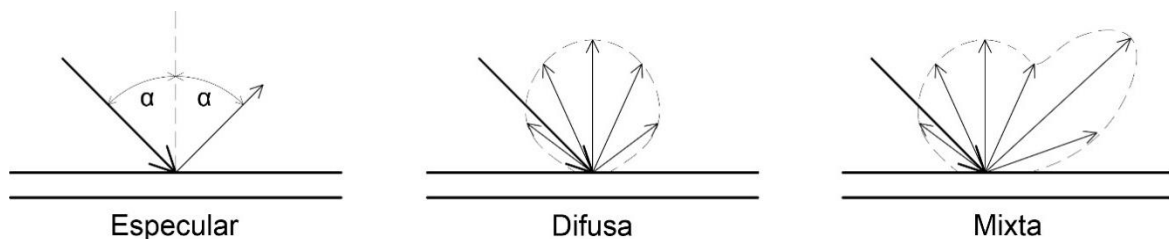


Figura 5. Tipos de reflexión luminosa. Fuente: Elaboración propia en base a (Feijó Muñoz, 1994)

- **Trasmisión:** Es la facilidad que posee un material para ser atravesado por la luz y depende de la transparencia del material. Este fenómeno sigue los mismos principios y definiciones que la reflexión.

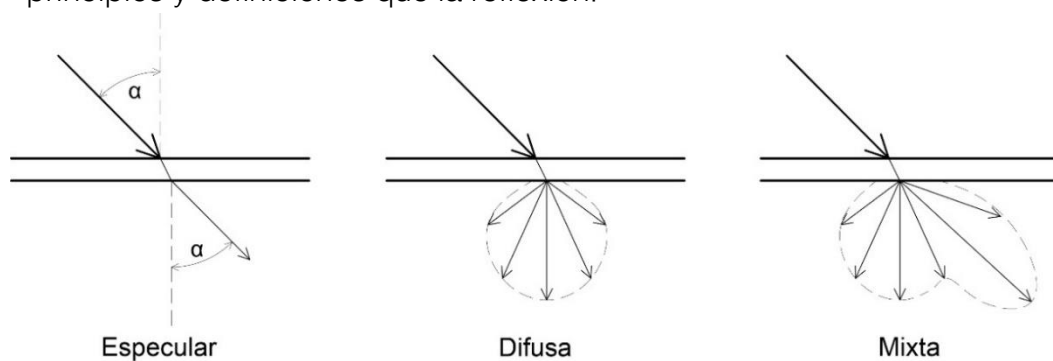


Figura 6. Tipos de transmisión luminosa. Fuente: Elaboración propia en base a (Feijó Muñoz, 1994)

1.2 EVALUACIÓN LUMÍNICA

Volúmenes sólidos y espacios cerrados, color y textura, sólo pueden ser apreciados cuando están iluminados imaginativamente, un buen diseñador usará la luz para revelar de manera sutil el edificio. El manejo de la luz depende del control del contraste de brillo: la interacción entre la luz y la oscuridad, textura (que es un patrón de acentos y sombras) y color. (Hopkinson 1969, p.24).

Como Hopkinson indica además de niveles de iluminación para satisfacer las necesidades visuales de los usuarios, se deben considerar otros criterios que influyen en la percepción del usuario del ambiente luminoso. Es fundamental que el espacio interior propicie el confort visual.

La distribución de luminancias, nivel de iluminancia, uniformidad de la iluminancia y la relación entre la iluminancia interior y exterior, son algunos de los criterios que permiten evaluar las condiciones lumínicas.

1.2.1. Confort visual

La RAE define el confort como el “bienestar o comodidad material” (Real Academia Española, 2014), está vinculado con la percepción y por tanto con los sentidos.

El confort visual surge cuando la visión puede distinguir con facilidad aquello que nos interesa. Está asociado a dos parámetros (Serra & Coch, 1995) el primero es la iluminancia (lx) referido a la cantidad de luz que nos permite observar con mayor detalle y el segundo es el deslumbramiento, la sensación de incomodidad producida por un excesivo contraste de luminancias en el campo visual.

- **Iluminancia**

Existen diversas recomendaciones de valores mínimos de iluminancia (lx) que un espacio interior debe registrar, los valores varían según las actividades a realizar. Según Peter Boyce (1996), estas variaciones se dan pues el balance entre el componente visual, cognitivo y motriz es único para cada tarea y esto hace que no exista una “fórmula mágica”. Además, indica que las recomendaciones de iluminancia no están determinadas sólo por el rendimiento visual, sino que están sujetas a otras fuerzas prácticas (tecnología vigente) y políticas (financieras y emocionales). Para demostrarlo expone la variación en el manual del IESNA - *Illuminating Engineering Society of North America*:

Tabla 1. Iluminancia recomendada para leer por el IESNA a través de los años. Fuente: (Boyce, 1996)

IESNA <i>Handbook</i>	Tarea visual: Leer	Iluminancia (lx)	Economía / Política
1947	Regular Difícil	300 500	Crecimiento moderado
1959	Regular Difícil	1000 2000	Fuerte crecimiento
1981	Regular Difícil	200-300-500 500-750-1000	Después de la crisis de energía

La necesidad del nivel de iluminación también puede variar según la edad de los usuarios. Se hizo un estudio del nivel de iluminancia requerido para leer, con distintos tipos de letra, para personas de 20 años y de 60 años. Se comprobó la diferencia en ambos grupos y se contrastó con las recomendaciones del IESNA.

Tabla 2. Iluminancia requerida para leer por usuarios de distintas edades. Fuente: (Boyce, 1996)

Tamaño de letra	Contraste de impresión	Iluminancia (lx)		Recomendación de Iluminancia del IESNA (lx)
		20 años	60 años	
6 point	0.7	79	302	500 - 1000
8 point	0.7	38	148	200 - 500
10 point	0.7	27	101	200-500

También podemos considerar que el nivel de iluminación demandado responde a la cultura del usuario, Tanizaki indicaba:

¿Cuál puede ser el origen de una diferencia tan radical en los gustos? Mirándolo bien, como los orientales intentamos adaptarnos a los límites que nos son impuestos, siempre nos hemos conformado con nuestra condición presente; no experimentamos, por lo tanto, ninguna repulsión hacia lo oscuro; nos resignamos a ello como a algo inevitable: que la luz es pobre, ¡pues que lo sea!, es más, nos hundimos con deleite en las tinieblas y les encontramos una belleza muy particular (Tanizaki, 1994).

Para este trabajo de investigación se toman en consideración los valores indicados en la norma para iluminación natural - EN 17037:

Tabla 3. Nivel de iluminación recomendado según el esfuerzo visual. Fuente: Elaboración propia en base a (European Committee for Standardization, 2018)

Esfuerzo visual	Luxes (lx)
Alto	750
Medio	500
Bajo	300

1.2.2. Daylight Factor

El *Daylight Factor* (DF) o factor de luz natural, permite calcular la cantidad de luz diurna disponible al interior de un recinto en relación a la iluminancia exterior. Está expresada en porcentaje, de la siguiente manera:

$$DF = (E_i / E_e) \times 100\%$$

E_i = Iluminancia Interior Media
 E_e = Iluminancia Exterior sin obstáculos

Es un factor permanente, cuyos cálculos se basan en cielo nublado (Hopkinson, 1969). Considera los tres componentes de la luz natural (descritas en el apartado 2.1): la luz difusa que procede directamente del cielo (SC), la componente de luz reflejada procedente de superficies exteriores (ERC), y luz reflejada desde superficies interiores (IRC).

$$DF = SC + ERC + IRC$$

Su valor depende de factores como: El área y posición de los componentes de paso (perforaciones verticales), la suma de las superficies interiores (morfología del recinto), el coeficiente de reflexión de las superficies interiores, la altura de las perforaciones y la cantidad de cielo visible.

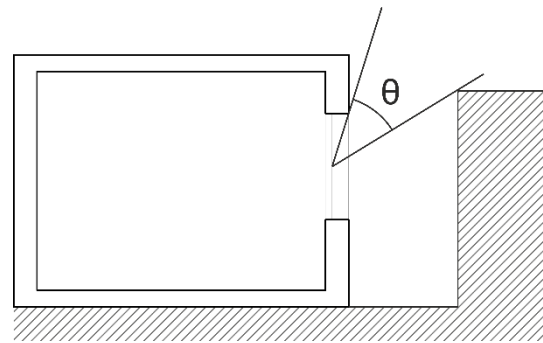


Figura 7. Ángulo visible del cielo θ . Fuente: Elaboración propia en base a (Yáñez, 2008)

La cantidad de cielo visible o Sky View Factor (SVF) representa la cantidad de cielo que podemos ver desde un determinado emplazamiento. Las obstrucciones del entorno la condicionan.

Si no varían los parámetros geométricos, reflectancias internas y externas, el *Daylight Factor* de una habitación se mantienen constante, aunque la iluminancia del cielo cubierto varíe.

1.2.2.1. Métodos para analizar el Daylight Factor

El DF se puede evaluar de diferentes formas. Para analizar el área total de un recinto deben analizarse múltiples puntos, siendo recomendable hacer uso de una cuadrícula de medición.

- **DF Medio:** Es el término más usado y describe el promedio de luz diurna de los puntos (en la cuadrícula) analizados.
- **Mediana de DF:** La mediana es el número de DF que ocupa la posición central en la secuencia ordenada de todos los valores de DF calculados. Permite entender la distribución de la luz en el recinto. Por ejemplo, comparando dos secuencias (4,4,4) y (1,1,10) su media es la misma pero la distribución de los números es distinta. Mientras más cercana sea la mediana a la media, más homogénea será la secuencia.
- **Uniformidad:** La uniformidad de repartición de la luz puede medirse a través de UR (Uniformity Ratio) que se expresa de la siguiente manera:

$$UR = DF_{\min} / DF_{\text{med}}$$

Distintas normativas o instituciones indican los ratios referenciales para su evaluación, por ejemplo el método de evaluación para edificios sostenibles BREEAM (2014) indica que este rango debe ser al menos 0,3%.

1.2.2.2. Recomendación de Daylight Factor

Diferentes valores de *Daylight factor* se relacionan con la forma como se percibe el espacio interior. En Europa, el valor referencial mínimo admitido es de 2% (European Committee for Standardization, 2018), esto se basa en un nivel de 300 lx como mínimo para realizar tareas visuales. Es importante considerar que el DF variará en relación de la iluminancia exterior, diferentes latitudes tendrán distintos porcentajes para alcanzar los 300lx.

Tabla 4. Valores de DF para alcanzar una iluminancia interior de 300lx. Fuente: Elaboración propia en base a simulación en DIALux.

Ciudad	Latitud	Iluminancia interior (lx)	Iluminancia exterior (lx)	DF (%)
Lima	-12.1 °	300	20,500	1.46
Barcelona	41.4 °	300	16,500	1.82
Oslo	59.9 °	300	12,000	2.50

1.3 ILUMINACIÓN NATURAL EN LA ARQUITECTURA

Architecture is the masterly, correct and magnificent play of volumes brought together in light.

Le Corbusier

El ser humano intentó iluminar de forma natural los espacios habitables, mediante pequeñas perforaciones en los muros y techos, o secciones escalonadas de la arquitectura. La intención no solo fue mejorar la calidad de la visión sino la experiencia de la percepción. El manejo de la luz natural es una expresión inconsciente de la sociedad y su cultura, que está ligada con la seguridad y calidez (Baker & Steemers, 2002).

Ha sido un requisito fundamental en el proceso de diseño y un bien anhelado. En el año 1663 Inglaterra la consideraba parte de una ley de propiedad denominada "*Ancient Lights*", donde las ventanas de una edificación no podían ser obstruidas por edificios adyacentes.

El vidrio representa un cambio fundamental en la relación entre la luz natural y la arquitectura. Su uso marca una "real evolución hacia una vivienda confortable y bien iluminada." (Serra & Coch, 1995). El proceso de laminación, que permitió fabricar grandes planchas de vidrio, fue una de las mayores atracciones y avances mostrados en las exposiciones universales del siglo XIX y propició su auge en el siglo XX.

Esto tuvo una gran influencia en la arquitectura moderna. Planos abiertos y fachadas libres fueron introducidas por arquitectos como Le Corbusier permitiendo la continuidad espacial acentuada por la luz natural proporcionada por ventanales continuos.



Figura 8. Iluminación natural en arquitectura escalonada. Hagia Sophia, Estambul. Fuente: (Propia, 2018).



Figura 9. Letreros de "Ancient lights" debajo de las ventanas de un edificio en Londres. Fuente: (Britannica, 2018)

1.3.1. Componentes de la luz natural

El ingreso de la luz natural en la arquitectura varía según la ubicación y disposición de las perforaciones. Para calcular la cantidad de luz y forma de distribución que ingresa, deben tomarse los factores que forman parte de la iluminación natural.

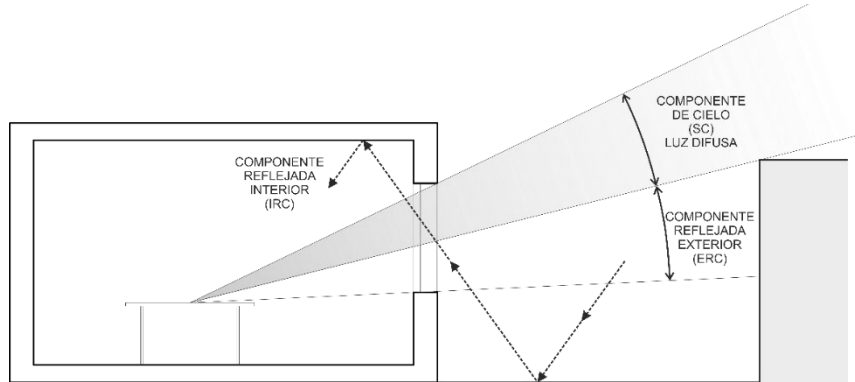


Figura 10. Componentes de la luz natural que afectan el espacio interior. Fuente: Elaboración propia en base a (Baker & Steemers, 2002)

Los tres componentes fundamentales son el componente del cielo (SC) sus siglas provienen del inglés *Sky Component*, las reflexiones externas (ERC) del inglés *Externally Reflected Component* y las reflexiones internas (IRC) *Internally Reflected Component*.

- **La luz del cielo (SC):** Está referida al componente de luz difusa, como se señaló en el punto 1.3, y no considera la luz solar directa. La luz del cielo es el principal componente que influye en la variación de intensidad de la luz en un recinto.

- **Las reflexiones externas (ERC):** Es el componente de luz difusa que al reflejarse sobre superficies externas al recinto inciden sobre el espacio interior. Se refiere principalmente a la reflexión generada por la superficie de las fachadas de edificios aledaños.

Las reflexiones externas son más relevantes en casos de alta densidad urbana ya que debido a la cercanía con edificios el SVF se reduciría.

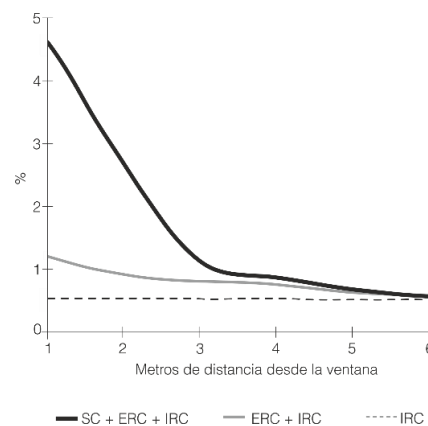


Figura 11. Esquema de los aportes de los tres componentes de la luz natural para una habitación con obstrucción externa. Fuente: Elaboración propia en base a (Baker & Steemers, 2002)

- **Las reflexiones internas (IRC):** Es el componente de la luz del cielo que tiene múltiples reflexiones en los elementos interiores del recinto (muros, techos, mobiliario, etc.). Depende de la forma y proporciones del recinto, así como del coeficiente de reflexión de las superficies internas. Suele ser uniforme en todo el espacio.

1.3.2. Geometría del espacio e iluminación

La geometría de los espacios afecta la cantidad de iluminación recibida y la forma como se distribuye. Por ejemplo, cuando los recintos son alargados es probable que en el fondo no haya SC y en una habitación con planta en forma de “L” el IRC tendría mayor importancia.

Las características más relevantes en un recinto son la altura, proporción y la situación en la que se encuentra; es decir la disponibilidad de superficies para poder captar iluminación natural. La investigación supone solo un frente disponible.

Para asignar valores adimensionales que permitan un estudio global de los recintos se tomarán en cuenta dos coeficientes descritos en Arquitectura y energía natural (Serra & Coch, 1995).

- **Coficiente de compacidad (c)**

Da una referencia de cómo es la forma geométrica de una edificación. Es la relación entre la superficie equivalente (S_{eq}), que representa la superficie de una esfera, y la superficie global de la edificación a analizar (S_G). El coeficiente máximo de compacidad sería 1, igual al de la esfera.

$$c = \frac{S_{eq}}{S_G} = 4,836 \frac{V_T^{2/3}}{S_G}$$

c	coeficiente de compacidad
S_{eq}	superficie equivalente
V_T	volumen total del edificio, incluye patios
S_G	superficie global de la piel que rodea el edificio

- **Coefficiente de adosamiento (ad)**

Se refiere a la cantidad de piel de la edificación que está en contacto con otros locales. Es la relación entre la superficie adosada (S_{ad}) y la superficie global (S_G). A mayor adosamiento son menores las posibilidades de iluminación natural.

$$ad = \frac{S_{ad}}{S_G} = \frac{S_{ad}}{S_{ad} + S_{as} + S_{pt}}$$

ad	coeficiente de adosamiento
S_{as}	superficie asentada
S_{ad}	superficie adosada
S_{pt}	superficie de piel proyectada
S_G	superficie global de la piel del edificio

1.3.3. Perforaciones en los planos verticales– Componentes de paso

Un vano, hueco o perforación es una apertura en una superficie compacta, es el vacío en los planos de cerramiento de los recintos cuyo objetivo es permitir el intercambio luminoso con el exterior, propiciar ventilación natural y generar vistas al exterior.

Existen **tres sistemas básicos, denominados componentes de paso, que permiten el paso de la iluminación natural al interior de la arquitectura:** cenital, lateral y global (Baker et al., 1993). La primera se refiere a perforaciones en el plano superior de la edificación, pueden ser lucernarios, claraboyas, teatinas, etc. La segunda se refiere a perforaciones en la envolvente vertical de la edificación, las ventanas. La tercera son parte del cerramiento de un volumen construido y rodean el espacio parcial o totalmente, como invernaderos o membranas.

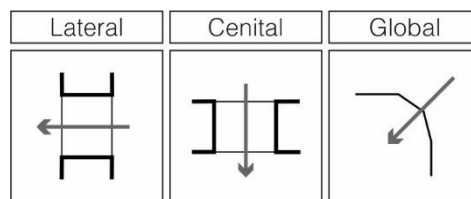


Figura 12. Componentes de paso. Fuente: Elaboración propia en base a (Baker et al., 1993)

La investigación se enfoca en el estudio de los componentes de paso laterales, pues son los más usados en edificaciones de marcada verticalidad, como la vivienda multifamiliar (Li et al., 2006), ya que no necesitan disponer de forjados con contacto directo al exterior.

La geometría, tamaño y disposición de estas perforaciones no son estandarizadas y varían según el diseño arquitectónico. Su ubicación y distribución condicionan el reparto de la luz natural y tienen repercusión en las escenas lumínicas generadas.

Kahn consideraba que un espacio sin luz no es un espacio para permanecer y que de los elementos que componen un recinto, la ventana es uno de los más importantes. Afirmó que “De los elementos de una habitación, la ventana es la más maravillosa. (...) El corredor sin luz, nunca una habitación, aspira al pasillo que da al jardín”(Kahn, 1971).

En un punto próximo a una ventana la iluminación natural es la máxima y se reduce exponencialmente a medida que se aleja de ella. Por ello es común que las actividades que necesitan mayor agudeza visual se realicen al lado de ellas.

Para mejorar la percepción visual no solo es necesaria la cantidad de luz, sino que importa su forma de distribución. Por este motivo siempre ha sido de interés estudiar la mejor forma de introducir la iluminación natural en los espacios interiores y existen ciertas reglas básicas para su disposición.

Vitrubio en el siglo I A.C. escribió, en el libro VI de Los diez libros de arquitectura, criterios para tener una correcta iluminación natural, contemplaba lo siguiente:

Desde la parte que se considere más apropiada para que penetre la luz, trácese una línea desde lo alto de la pared que obstaculice el paso de la luz, hasta el punto donde se necesite, y si desde esta teórica línea, mirando hacia arriba puede contemplarse un amplio espacio del cielo, sin ningún problema la luz llegará a este punto.[...] debe procederse siempre de forma que las aberturas de las ventanas queden situadas en cualquier parte que permita contemplar el cielo; así se lograrán edificios bien iluminados. (Pollio ,1987, p.78)

Existe una relación entre la altura de los vanos y la profundidad a la que llega la iluminación natural difusa. En 1927, Le Corbusier expuso cuáles eran los cinco puntos para concebir una arquitectura moderna. El cuarto punto hace referencia a la ventana longitudinal, considerando que esta permitiría mayor iluminación y una repartición homogénea de la luz. Mientras que con ventanas verticales la luz no tendría tanta profundidad. Por ello, proyectos ejecutados en los años veinte tuvieron ventanas corridas.

Luego descubrió que la afirmación no era cierta y que a mayor altura de la ventana era mayor la profundidad que alcanza la luz natural, así para los años 50 proyectaría ventanas verticales.

Es así que, no solo el tamaño de la ventana es importante sino también la altura de la apertura, techos que son más altos permiten una penetración más profunda de la luz diurna. Como regla general, la profundidad útil alcanzada por la luz es el doble de la distancia de la altura entre el piso y la parte superior de la ventana.

Según el Comité Español de Iluminación – CEI (2005) si un recinto se ilumina con iluminación diurna a través de ventanas en una sola pared, la profundidad de la sala (L) no debe exceder el valor de la siguiente expresión:

$$\frac{L}{W} + \frac{L}{H_w} < \frac{2}{(1 - \rho)}$$

- L Profundidad del recinto
- W Ancho del recinto
- H_w Altura desde la parte superior de la ventana hasta el nivel del suelo
- R_b Reflectancia promedio de las superficies en la mitad posterior de la sala

Respecto al tamaño de las perforaciones el *European Concerted Action Programme on Daylighting*, las clasifica según la relación entre su área total y el área del recinto que ilumina (Baker et al., 1993).

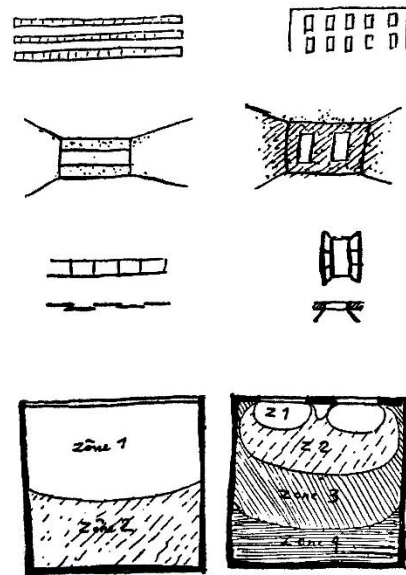


Figura 13. Dibujos de Le Corbusier con suposiciones erróneas sobre la forma de distribución de la luz natural según la disposición de los vanos. Izquierda: Ventana corrida, como en Villa Stein de Monzie (1928). Derecha: Ventana vertical, como en la unidad habitacional de Marsella (1952). Fuente: (Yáñez, 2008).

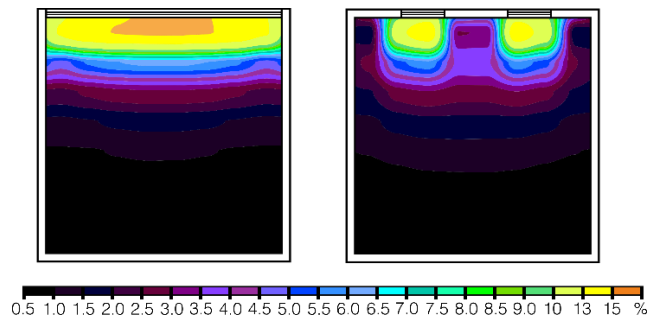


Figura 14. Simulación que demuestra cómo sería la repartición de la luz realmente en los esquemas de Le Corbusier. Derecha: Ventana corrida con mayor contraste en la repartición de la luz. Izquierda: Ventanas verticales, mayor profundidad de penetración de la luz. Fuente: Elaboración propia en base a DIALux.

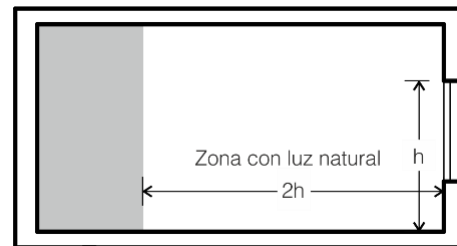


Figura 15. Regla de iluminación que permite calcular el máximo de profundidad que alcanza la luz natural. Fuente: Elaboración propia en base a (Tregenza & Wilson, 2011).

Se considera una perforación muy baja si su área es menor al 1% de la del recinto; baja, si es de 1 a 4 %; mediana, si es de 4-10%; alta, si es de 10-25%; y muy alta, si es mayor a 25%. Esta relación, también es denominada como *Window Floor Ratio* (WFR)

$$\text{WFR}(\%) = \frac{\sum \text{Área total de las ventanas (m}^2\text{)}}{\sum \text{Área total del piso (m}^2\text{)}}$$

Otros estudios en iluminación natural (Lee et al., 2019; Vaisi & Kharvari, 2019) también emplean un factor de relación entre el tamaño del muro y el área de la pared externa, denominado *Window Wall Ratio* (WWR).

$$\text{WWR}(\%) = \frac{\sum \text{Área total de las ventanas (m}^2\text{)}}{\sum \text{Área bruta del muro exterior (m}^2\text{)}}$$

Por lo antes mencionado, es importante considerar la altura del vano, el área total y la forma de repartición, ya que influirá en la repartición de la luz al interior.

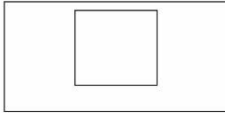
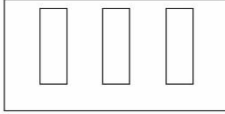
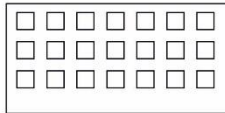
1.4 CLASIFICACIÓN DE TIPOLOGÍAS

La visión toma como sistema de referencia al paralelismo y perpendicularidad para la organización espacial. Las cuadrículas y las líneas rectas son útiles para orientarnos en el espacio. Se analizan distintas perforaciones en referentes arquitectónicos y se clasifican en tres tipologías de vanos representativos. La clasificación se realiza a partir de la geometría y distribución de las perforaciones, tomando como referencia las teorías de Ching (2006) y Arnheim (1982).

Se rescatan dos de los principios ordenadores establecidos por Ching: jerarquía y ritmo-repetición. La jerarquía se refiere a elementos que destaquen del resto, puede ser por su tamaño, por la diferencia de su forma o por la situación estratégica en la que se encuentra. Para las tipologías se considera jerarquía a un elemento **singular** que destaca por ser el único en el plano vertical. El ritmo-repetición es un principio que se refiere a la agrupación, con un orden-secuencia determinada, de elementos similares (forma, tamaño, contorno o detalles característicos). Para la clasificación se determina que es **rítmica** si las perforaciones se repiten con un orden regular y armónico.

Rudolf Arnheim afirma que las retículas son un conjunto de elementos en los planos, que usualmente no marcan ninguna dirección. Pueden generar una trama simple o compleja donde las líneas imaginarias nos permiten conectarlas. Se considerará **reticular** a los vanos que presenten una trama definida.

Tabla 5. Clasificación de tipologías de perforaciones en planos verticales. Fuente: Elaboración propia.

CLASIFICACIÓN DE TIPOLOGÍAS	
<p>TIPO A SINGULAR</p>	
<p>TIPO B RÍTMICA</p>	
<p>TIPO C RETICULAR</p>	

Se detallan las características cualitativas de cada tipología y los referentes arquitectónicos o artísticos analizados para su clasificación. Cada proyecto referenciado indica el nombre de la obra, año de ejecución, país y autor.

3.4.1. Tipo A - Singular

Cuando aparece una sola perforación en el plano vertical, marca jerarquía y alto contraste en la escena lumínica, delimita el espacio como único. Permite contacto directo con el exterior.

Son ejemplos de la tipología A:



Figura 16.
Santa María Novella
1470
Firencia, Italia
Leon Battista Alberti
Fuente: (Lotte, 2019).



Figura 17.
Pintura: Lady writing a letter with her maid
1671
Holanda
Johannes Vermeer
Fuente: (NGI, 2016).



Figura 18.
Pabellón Barcelona
1929
Barcelona, España
Lilly Reich & Mies van der Rohe
Fuente: (Recati, 2019).



Figura 19.
Müller house
1930
Praga, Republica Checa
Adolf Loos
Fuente: (Vinci, 2017).

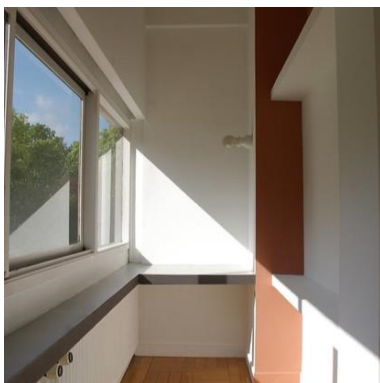


Figura 20.
Villa Savoye
1931
París, Francia
Le Corbusier
Fuente: (Mckenzie,2008)



Figura 21.
SESC Pompeia
1977
Sao Paulo, Brasil
Lina Bo Bardi
Fuente: (Yale University Press, 2013).



Figura 22.
Villa Ponty
1984
El Cairo, Egipto
Hassan Fathy
Fuente: (Rihan, 2009).



Figura 23.
Vals Thermal Baths
1996
Graubunden, Suiza
Peter Zumthor
Fuente: (Fouillet, 2016)



Figura 24.
Hotel Unique
2003
Sao Paulo, Brasil
Ruy Ohtake
Fuente: (Toscani, 2014)



Figura 25.
Capela do Monte
2016
Lagos, Portugal
Alvaro Siza
Fuente: (Morgado, 2018)

3.4.2. Tipo B - Rítmica

Cuando aparecen múltiples perforaciones en el plano vertical, suelen ser una secuencia de perforaciones armónicas que complementan la estética de la arquitectura. En la escena lumínica el contraste es menor al generado por el “tipo A” pues el ingreso de luz está repartido. Pueden crear subespacios y permiten el contacto directo con el exterior.

Ejemplos del tipo B:



Figura 26.
Biblioteca de Cataluña
Siglo XV
Barcelona, España
Arnau Bagués-Guillem Abiell
Fuente: (Propia, 2019)



Figura 27.
Pintura: The Morning Room
1907
Inglaterra
Walter Westley Russell
Fuente: (Bridgeman Images, 2019)

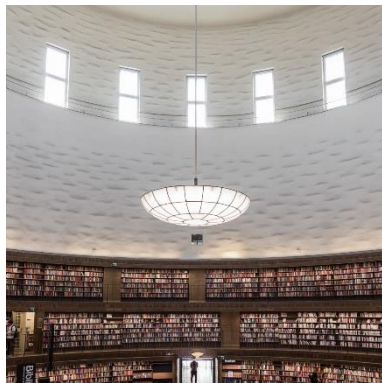


Figura 28.
Biblioteca Pública de Estocolmo
1928
Estocolmo, Suecia
Erik Asplund
Fuente: (Said, 2018)



Figura 29.
Lakeuden Risti Church
1965
Seinäjoki, Finlandia
Alvar Aalto
Fuente: (Godel, 2012)

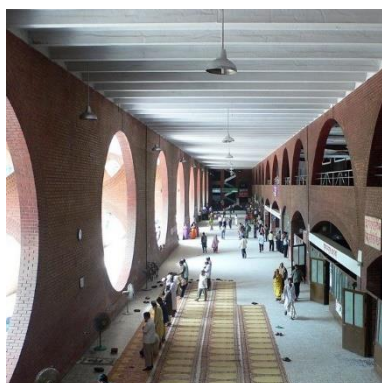


Figura 30.
Hospital Ayub
1969
Dacca, Bangladesh
Louis Kahn
Fuente: (Hosain, 2012)



Figura 31.
Instituto Francés
1975
Barcelona, España
José Antonio Coderch
Fuente: (Català-Roca, sf.)



Figura 32.
Casa Gilardi
1976
Distrito Federal, México
Luis Barragán
Fuente: (Smith, 2017)



Figura 33.
Koshino House
1984
Ashiya, Japan
Tadao Ando
Fuente: (Schroeer-Heiermann, 2017)

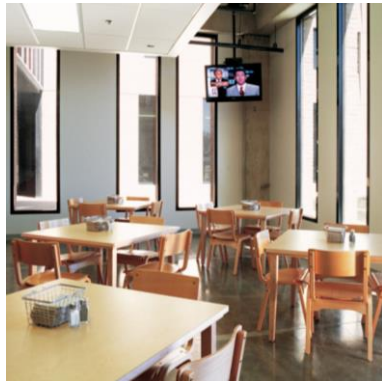


Figura 34.
Edward's University New Residence
2008
Texas, USA
Alejandro Aravena
Fuente: (Palma, 2009)

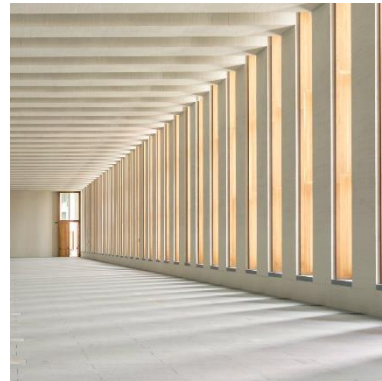


Figura 35.
Museo de las colecciones reales
2015
Madrid, España
Mansilla+Tuñón Arquitectos
Fuente: (Carrascosa, 2015)

3.4.3. Tipo C - Reticular

Sucesión de múltiples perforaciones en el plano vertical, que crean una trama. La luz es difusa en la escena lumínica y da más relevancia al interior. Se regula el contacto con el exterior, a mayor cercanía al vano mayor registro del exterior.

Ejemplos de escenas con vanos tipo C:

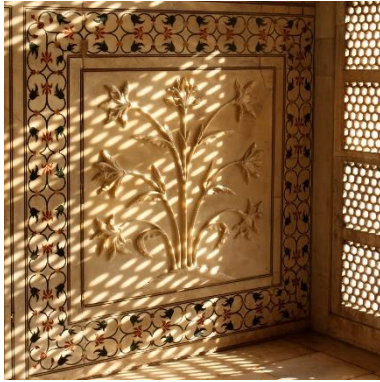


Figura 36.
Taj Mahal
1654
Agra, India
Ustad Ahmad Lahori
Fuente: (Searle, 2009)



Figura 37.
Pintura: A room in the house of Shayk
1875
El Cairo, Egipto
Frank Dillón
Fuente: (V&A Museum, 2009)

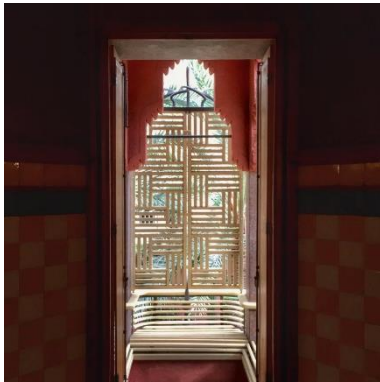


Figura 38.
Casa Vicens
1885
Barcelona, España
Antonio Gaudí
Fuente: (Propia, 2020)

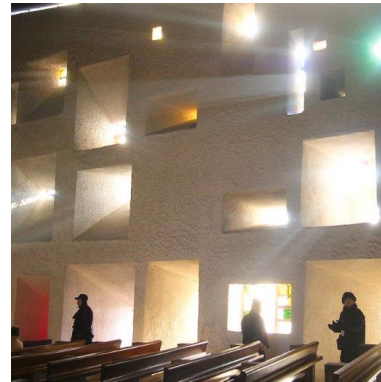


Figura 39.
Capilla Notre Dame du Haut
1955
Ronchamp, Francia
Le Corbusier
Fuente: (Hide, 2003)

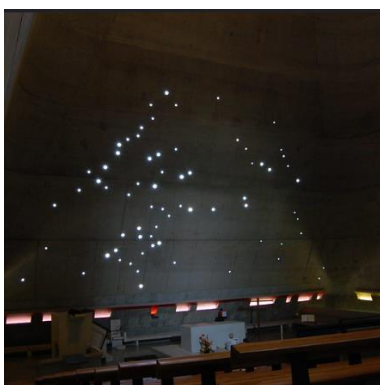


Figura 40.
Church of Saint-Pierre
1960-2006
Loira, Francia
Le Corbusier
Fuente: (Armstrong, 2009)



Figura 41.
Casa la Ricarda
1963
Barcelona, España
Antonio Bonet
Fuente: (Les Pedres de Barcelona, 2016)

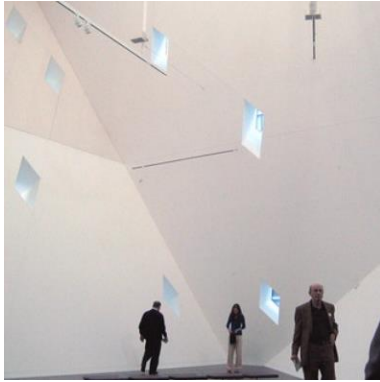


Figura 42.
Museo Judío Contemporáneo
2008
San Francisco, USA
Daniel Libeskind
Fuente: (Edwards, 2016)



Figura 43.
Cube Tube
2010
Jinhua, China
SAKO Architects
Fuente: (Hiromatsu, 2012)



Figura 44.
Centre for health and social advancement
2013
Burkina Faso
Francis Keré
Fuente: (Groener, 2014)



Figura 45.
Aulario Universidad de Piura
2016
Piura, Perú
Sandra Barclay & Jean Pierre Crousse
Fuente: (Palma, 2016)

CAPÍTULO 2: PROPUESTA

A partir de las tipologías clasificadas se propone analizar su influencia en la repartición homogénea de la luz natural. Se uniformizan variables de localización, porcentaje de perforación y morfología del recinto en el que se sitúan, para que el análisis pueda ser comparable.

2.1 VARIABLES DE ANÁLISIS

Se han aislado las variables que se desean analizar. La localización del objeto de estudio será la misma. Respecto a los componentes de la luz, se estudia la luz difusa, por lo que si se trata del hemisferio norte se analizan las ventanas orientadas a norte, oeste de mañana y este por la tarde; y en caso del hemisferio sur se analizan las ventanas orientadas a sur, oeste de mañana y este por la tarde.

Se mantienen los mismos valores para los coeficientes de reflexión. El *Sky View Factor* es una variable independiente para poder comparar la repartición de la luz en distintas situaciones.

Respecto a la morfología del recinto, se mantiene constante, con el mismo coeficiente de compacidad y piel vertical proyectada.

Los componentes laterales estudiados tienen el mismo porcentaje de perforación y localización alta. La distribución de las perforaciones, clasificadas en tres tipos, es una variable independiente.

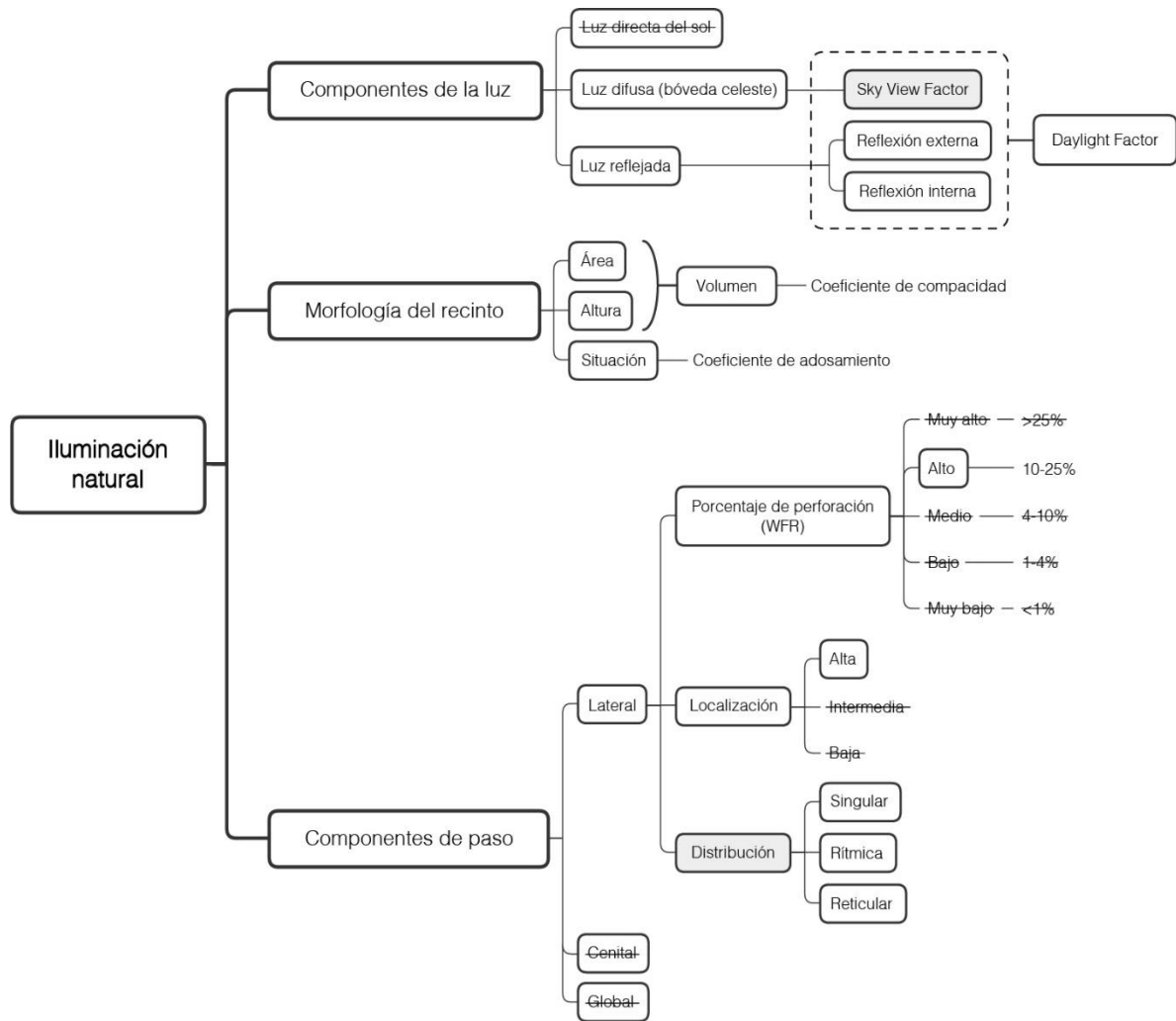


Figura 46. Mapa conceptual de las variables seleccionadas. Fuente: Elaboración propia.

2.2 DETERMINACIÓN DEL MODELO DE ESTUDIO

2.2.1. Contexto

El análisis se realiza en una edificación de nueve niveles de altura, que está emplazada en la ciudad de Barcelona-España, en una calle con proporción de cañón urbano de 1.5, frente a este edificio se encuentra otro con ocho niveles de altura. Se analizan recintos en el nivel primero (1), intermedio (5) y el último (9).

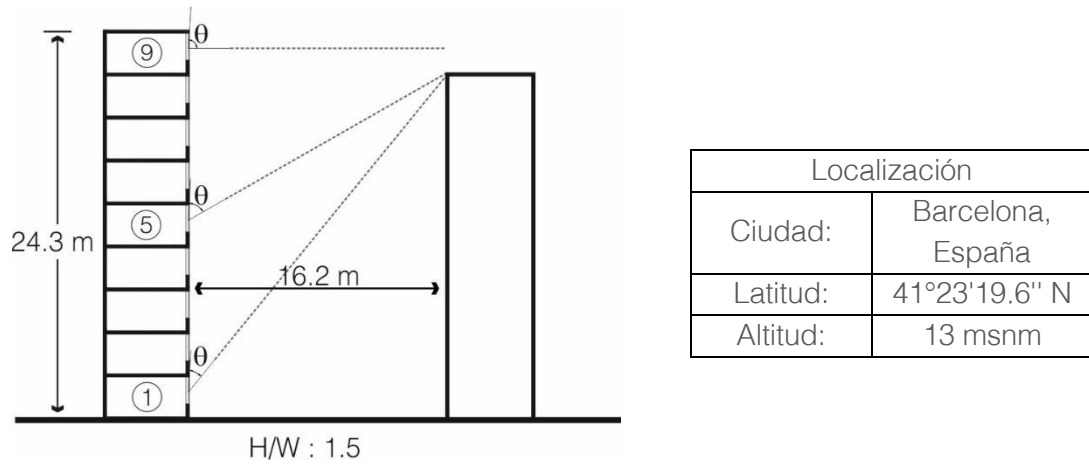


Figura 47. Esquema de cañón urbano y datos de la ciudad de Barcelona. Fuente: Elaboración propia.

2.2.2. Geometría del recinto

Geometría	Coefficientes
 <p>Proporción: 2:2:1 x: 5m y: 5m z: 2.5m Área: 25m² Volumen: 62.50m³</p>	<p>C.Compacidad 0.76 Piel proyectada (*) 0.13 (*) Solo se considera proyección vertical</p>

Figura 48. Síntesis de la morfología del recinto. Fuente: Elaboración propia.

El recinto tiene una proporción de 2:2:1, con cinco metros de largo y ancho, y 2.50m de altura. Para ratificar que la geometría del recinto asegura la iluminación diurna permisible se toma la fórmula propuesta por el CEI.

$$\begin{aligned}
 &= \frac{L}{W} + \frac{L}{H_w} < \frac{2}{(1-\rho)} \\
 &= \frac{5}{5} + \frac{5}{2.3} < \frac{2}{(1-0.5)}
 \end{aligned}$$

$$= 3.17 < 4$$

El coeficiente de compacidad del recinto es de 0.76, se determina de la siguiente manera:

$$c = \frac{S_{eq}}{S_G} = 4,836 \frac{V_T^{2/3}}{S_G}$$

$$V_T = 62.5 \text{ m}^3$$

$$S_G = 100 \text{ m}^2$$

c	0.76
----------	------

Del coeficiente de adosamiento, será relevante el factor de piel proyectada, ya que representa la zona disponible para captar iluminación natural. En el caso del último

nivel solo se tomará en cuenta la piel proyectada vertical ya que el estudio no contempla iluminación cenital.

$$pt = \frac{S_{as}}{S_G} = \frac{S_{as}}{S_{ad} + S_{as} + S_{pt}}$$

S _{as} =	25	m ²
S _{ad} =	62.5	m ²
S _{pt} =	12.5	m ²
S _G =	100	m ²

pt	0.13
-----------	------

2.2.3. Tipologías de perforación

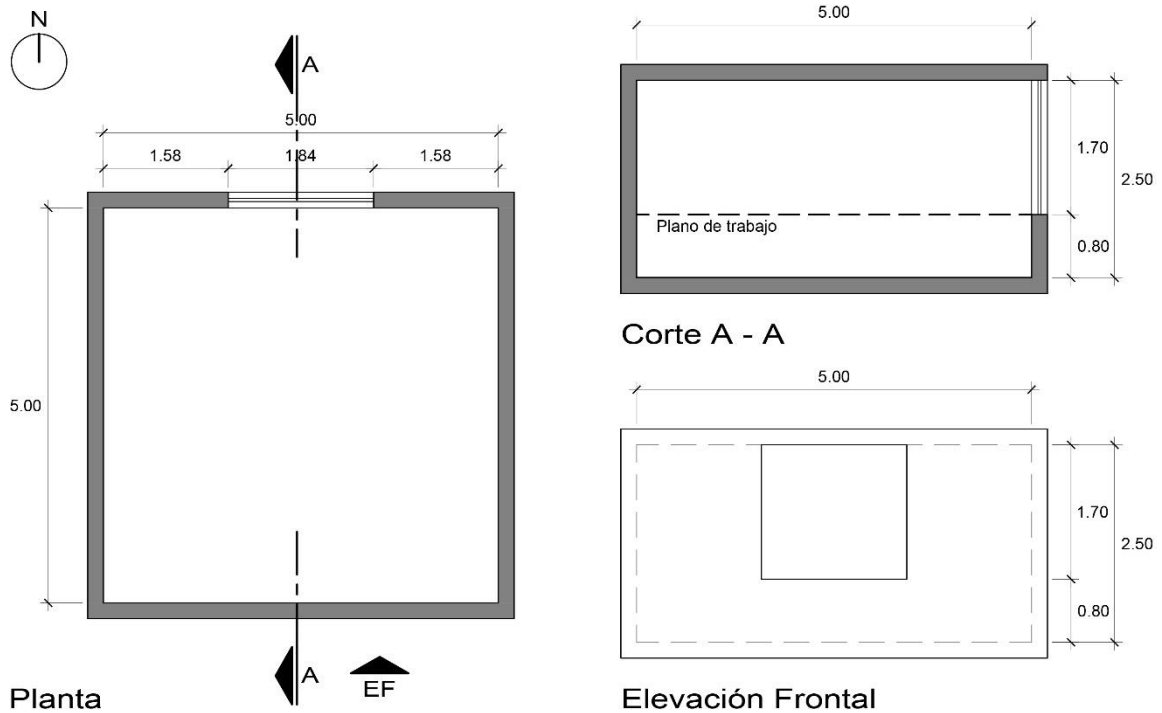
Los componentes laterales de paso tendrán un porcentaje de perforación de 25% del ratio WWR; o 13% del ratio WFR considerado como alta perforación (Baker et al., 1993). Están ubicados en la zona superior de la fachada, para que la luz alcance mayor profundidad. La distribución de las perforaciones se da en 1.70m., a 0.80m del piso.

Componente de paso	Lateral	Cenital	Global
	Alto	Medio	Bajo
Localización	Alta	Intermedia	Baja
Distribución	Singular	Rítmica	Reticular

Figura 49. Variables de los componentes de paso seleccionadas para el análisis. Fuente: Elaboración propia en base a (Baker et al., 1993)

A continuación, se detalla la ubicación de las perforaciones en los recintos seleccionados. Los tres modelos a estudiar tienen las siguientes características:

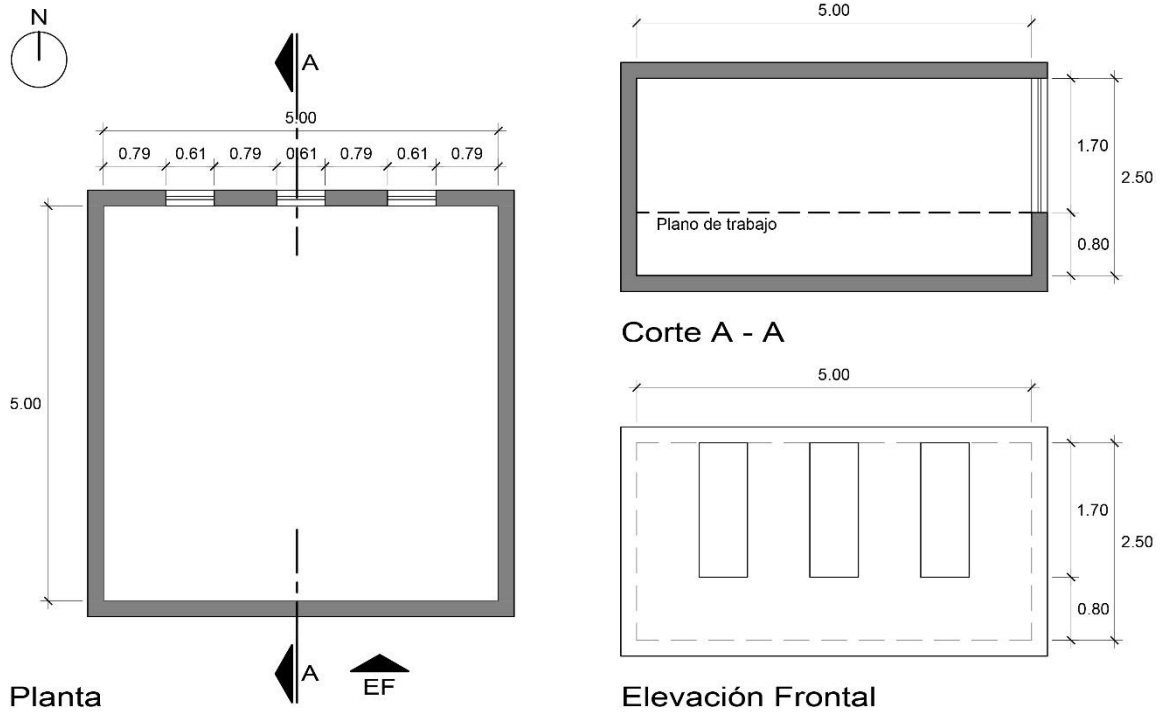
Tipología Singular (Tipo A):



Características de la perforación	
Dimensiones	1.84 x 1.70 m
Área	3.13 m ²
Cantidad	01 Und
Vidrio	Sencillo, 6mm
Proporción WWR	25%
Proporción WFR	13%
Orientación	Norte
SVF	Nivel 9 $\theta = 87^\circ$ Nivel 5 $\theta = 57^\circ$ Nivel 1 $\theta = 36^\circ$

Figura 50. Descripción de la tipología singular en el recinto. Fuente: Elaboración propia.

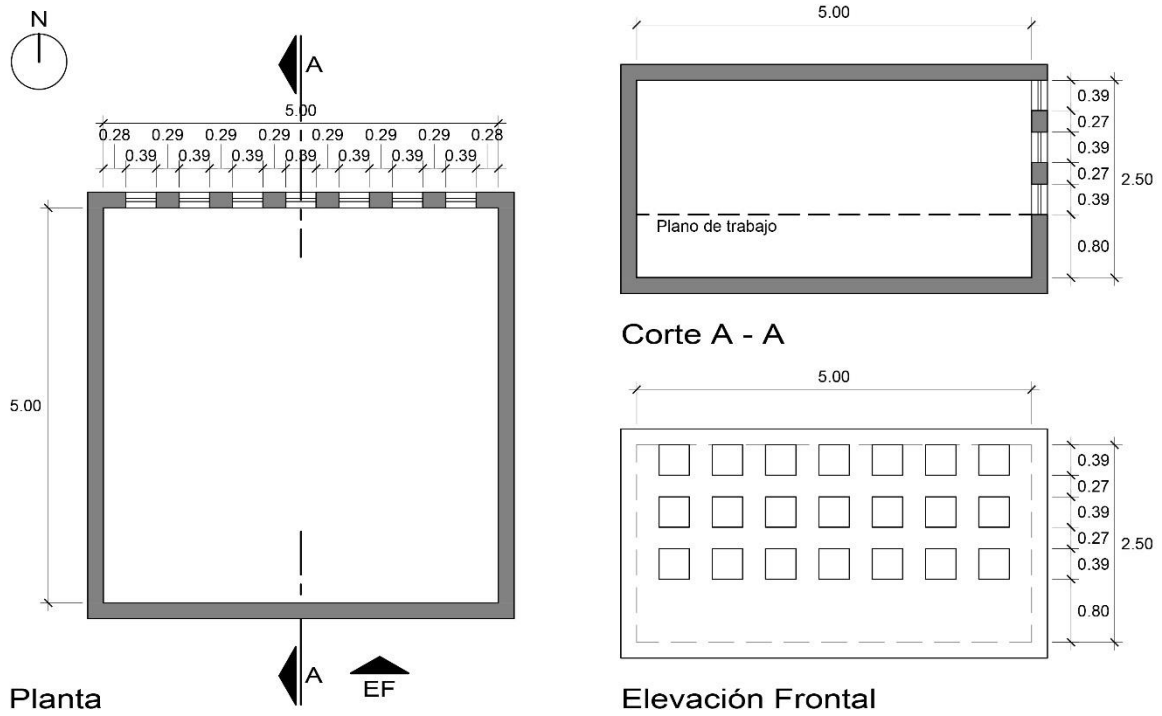
Tipología Rítmica (Tipo B):



Características de la perforación	
Dimensiones	0.61 x 1.70 m
Área	1.04 m ²
Cantidad	03 Und
Vidrio	Sencillo, 6mm
Proporción WWR	25%
Proporción WFR	13%
Orientación	Norte
SVF	Nivel 9 $\theta = 87^\circ$ Nivel 5 $\theta = 57^\circ$ Nivel 1 $\theta = 36^\circ$

Figura 51. Descripción de la tipología rítmica en el recinto. Fuente: Elaboración propia

Tipología Reticular (Tipo C):



Características de la perforación	
Dimensiones	0.39 x 0.39 m
Área	0.15 m ²
Cantidad	21 Und
Vidrio	Sencillo, 6mm
Proporción WWR	25%
Proporción WFR	13%
Orientación	Norte
SVF	Nivel 9 $\theta = 81^\circ$ Nivel 5 $\theta = 46^\circ$ Nivel 1 $\theta = 25^\circ$

Figura 52. Descripción de la tipología reticular en el recinto. Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

La investigación inicia con la recopilación y análisis de información referente a la iluminación natural. Luego se clasifican tres tipologías de perforaciones en los planos verticales a partir de referentes artísticos y arquitectónicos.

Se determinan variables de geometría del espacio, tipos de componente de paso y otras, que se mantendrán constantes; y se definen las variables independientes que corresponden a la distribución de las perforaciones y tres ángulos de vista de cielo.

El análisis práctico se realiza mediante una simulación en un programa informático cuyos resultados se evalúan de forma cualitativa, describiendo la forma de repartición de la luz; cuantitativa, determinando valores de DF medio, mediana, mínimo y máximo, así como las áreas ocupadas y el factor de homogeneidad; y comparativa, entre los casos de estudio. Finalmente se establecen conclusiones.

3.1. SIMULACIÓN LUMÍNICA

3.1.1. Software DIALux

Para el cálculo del *Daylight Factor* se empleará el software de simulación de iluminación DIALux evo 9.0, este software desarrollado en Alemania está disponible de forma gratuita. Las capacidades de cálculo de luz diurna hacen uso de la norma alemana DIN 5043 y la publicación de la comisión internacional de iluminación CIE 110-1994.

En este software es posible realizar el cálculo de la simulación con tres tipos de cielo: nublado (*overcast*), soleado (*clear*) y mixto (*average*). Para considerar los factores más desfavorables en el diseño de iluminación natural y siendo este uno de los más usados, se utilizará el modo de cielo nublado (*overcast*).

Mediante el proceso de simulación se obtendrán valores de *Daylight Factor* en los puntos solicitados lo cual representará el porcentaje de iluminancias presentes en el interior del espacio, en relación a la iluminancia exterior. El programa generará planos de falsos colores e isólineas con las que se podrá evaluar la distribución de la luz natural en el interior de los modelos propuestos.

3.1.2. Parámetros de simulación

3.1.2.1. Características de las superficies

Un factor a considerar es la reflectancia de las superficies interiores (IRC) por ello se calcula la reflectancia ponderada del recinto (ρ) tomando en cuenta que la reflectancia del piso, para madera oscura, es de 0.2; la del techo, pintura blanca, es 0.70; y la de las paredes, color claro con uso, es de 0.5. Con ello se establece que ρ la del recinto es de 0.50.

$$\rho = \frac{\sum \rho_i A_i}{\sum A_i}$$

Tabla 6. Características de las superficies utilizadas en la simulación. Fuente: Elaboración propia

Superficie	Reflectancia	Área (m ²)	$\rho_i A_i$
Techo	0.70	25.00	17.50
Paredes	0.50	46.88	23.44
Ventanas	0.10	3.13	0.31
Piso	0.20	25.00	5.00
$\sum \rho_i A_i$			46.25
ρ		0.46	

3.1.2.2. Configuración escena de luz

Tabla 7. Características de la escena de luz utilizada en la simulación. Fuente: Elaboración propia.

Configuración escena de luz	
Modelo de cielo	Cielo cubierto (CIE 110-1994)
Fecha y hora	15/09/20, 12:00

3.1.2.3. Configuración de la trama de medición

La malla utilizada para la simulación en DIALux Evo, está ubicada a 0.80m del nivel de piso, por encima del parapeto y corresponde al plano de trabajo. La distancia de la cuadrícula de la malla es de 0.55m y está separada 0.30m del perímetro. El número total de puntos de medición es de 81.

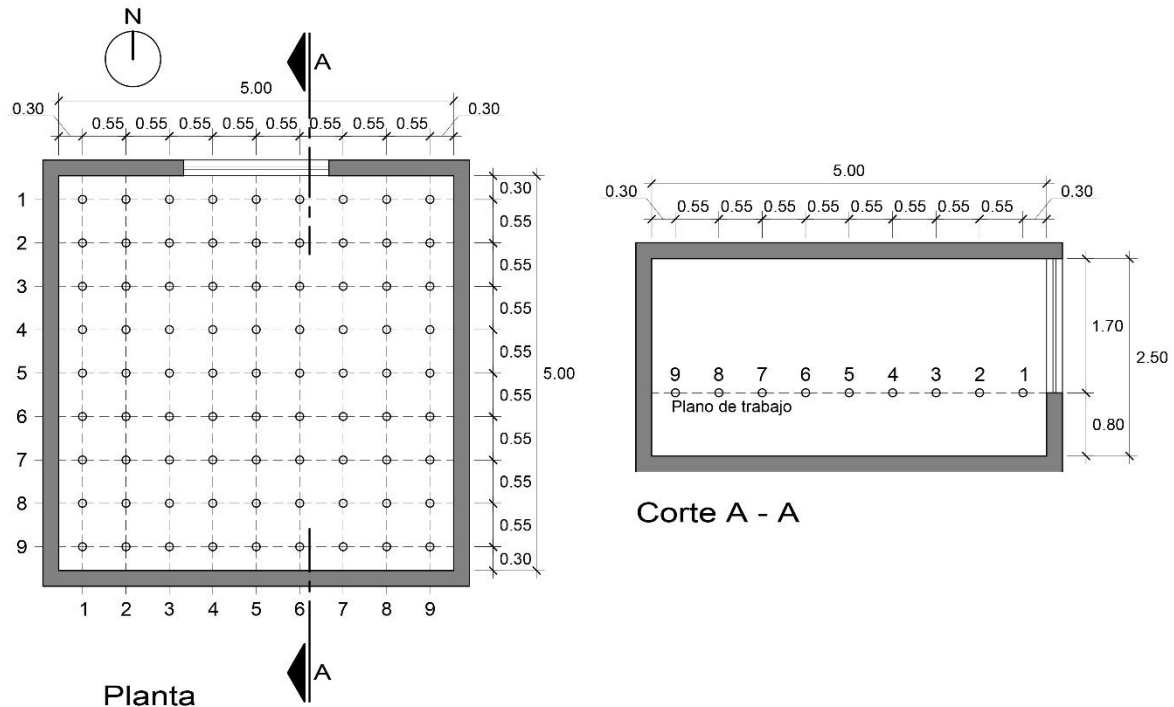


Figura 53. Planta y corte del recinto con la trama de medición. Fuente: Elaboración propia.

3.2. RANGOS DAYLIGHT FACTOR

Tomando en consideración que 2% de DF es el mínimo aceptable para realizar actividades visuales. A partir del plano de falsos colores de la simulación en DIALux, se propone agrupar los valores obtenidos de DF en cinco grupos: 0-1% y de 1-2% por debajo del rango mínimo; 2-4% el rango mínimo óptimo; 4-7% un ambiente luminoso y de 7 % a más, muy luminoso.

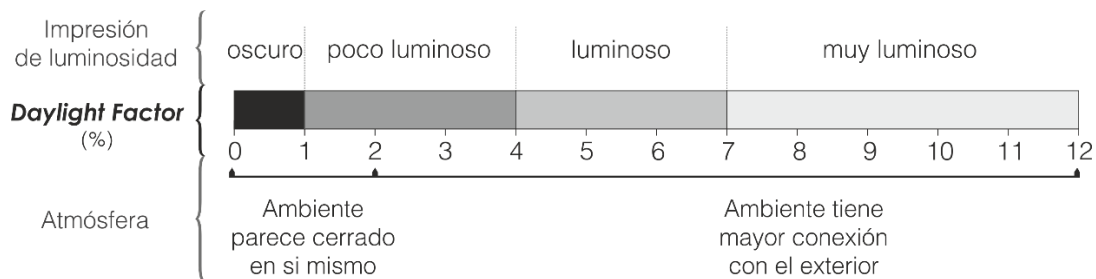


Figura 54. Rangos de DF y percepción de luminosidad. Fuente: (Andersen, 2014)

CAPÍTULO 4: RESULTADOS

4.1. VALORES DE DAYLIGHT FACTOR OBTENIDOS

4.1.1. Noveno nivel

A. TIPOLOGÍA SINGULAR (9A):

Descripción cualitativa:

DF con alto contraste, mayor nivel de iluminación próximo a la perforación en el plano vertical, focalizado en la zona central paralela al vano y no hacia los laterales. El reparto se asemeja a una forma radial, a partir del vano, con curvas cóncavas casi simétricas a partir del eje central.

Descripción cuantitativa:

El DF es de 3%. El porcentaje mínimo presentado es de 0.61% y el máximo de 23.92%, una diferencia de 23.31%.

La mediana de 1.34%, se diferencia en 1.57% de la media.

En el corte lumínico se aprecia una curva pronunciada, en forma de jota invertida, con una marcada disminución de 21.93% del DF en la primera mitad del recinto, próximo a la perforación. En la segunda mitad la diferencia máxima es de 1.22%.

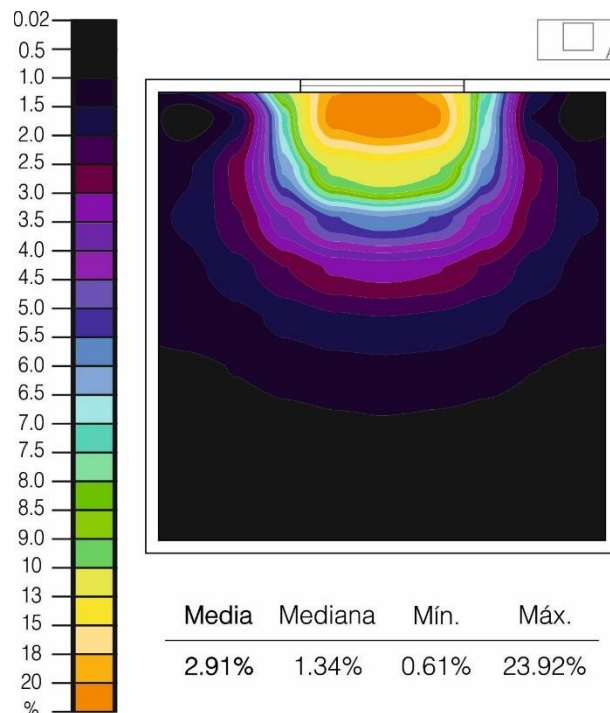


Figura 55. Simulación de DF: Planta de colores falsos. Noveno nivel con un vano tipo A. Fuente: Elaboración propia, programa DIALux.

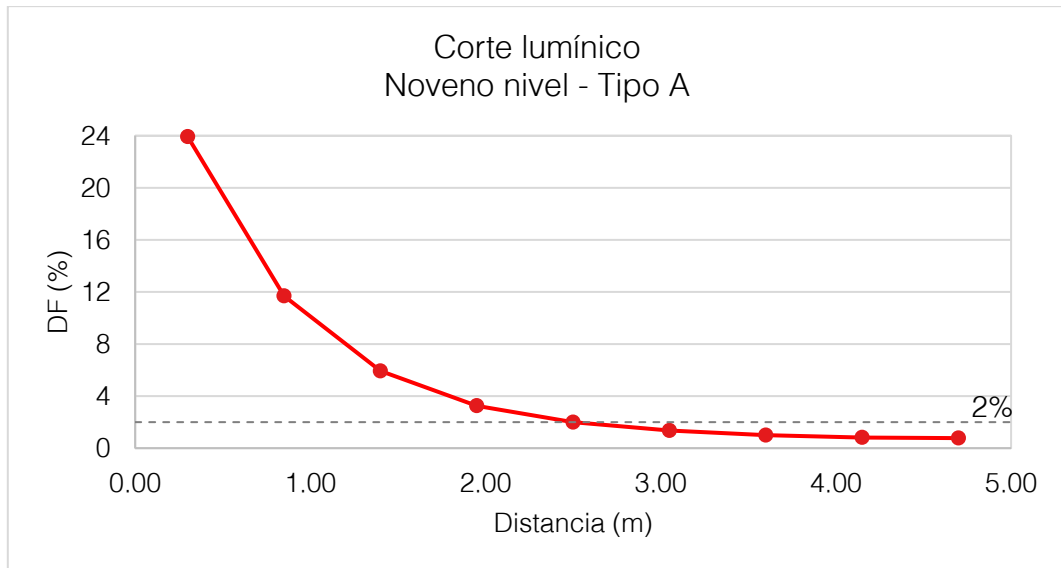


Figura 56. Corte lumínico. Hacia la izquierda la perforación. Noveno nivel con vano tipo A. Fuente: Elaboración propia.

De los 25m² de área total, 8.15m² tienen 2 o más de 2% de DF (representa el 33% del total). En el fondo del recinto, con distribución horizontal, y en pequeñas zonas cerca de las aristas de la fachada hay 9.02m² con DF menor a 1%. Le sigue un área de 7.83m² con DF menor a 2%, que se distribuye en forma de "U" desde el plano de la fachada hacia el fondo del espacio. Con la misma distribución en el rango de 2-4%, presenta 3.65 m² centrado a la fachada. 1.95 m² están en el rango de 4-7% y por encima del 7% hay 2.55m² concentrados, como media circunferencia, próximos al vano.

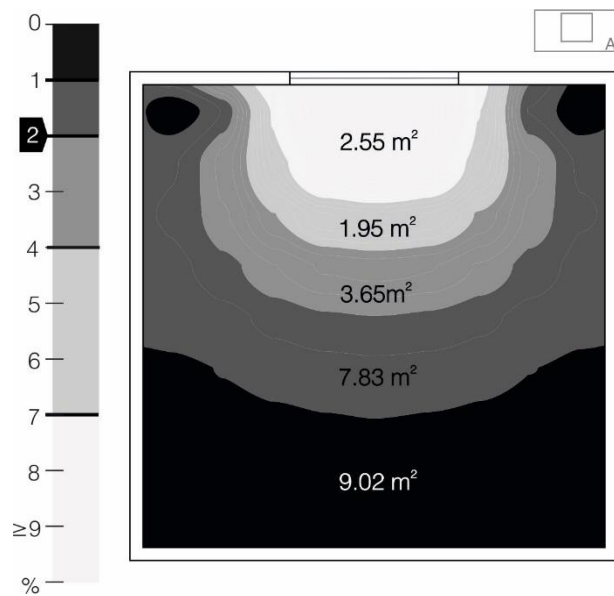


Figura 57. Esquema de planta: Agrupación de áreas según rango de DF. Noveno nivel con un vano tipo A. Fuente: Elaboración propia, en base a programa DIALux.

B. TIPOLOGÍA RÍTMICA (9B):

Descripción cualitativa:

DF contrastado, con mayor nivel de iluminación próximo a las perforaciones. La repartición, próxima a la perforación, se da en líneas curvas cóncavo-convexas paralelas a la fachada. Hacia el fondo las curvas son menos pronunciadas. Mayor intensidad de iluminación limitada entre los tres vanos, no se extiende hasta las paredes laterales.

Descripción cuantitativa:

El DF es de 3%. El porcentaje mínimo presentado es de 0.57% y el máximo de 15.27%, una diferencia de 14.69%.

La mediana de 1.46%, se diferencia en 1.17% de la media.

En el corte lumínico la curva es poco pronunciada. En la primera mitad del recinto, próximo a la perforación, la máxima diferencia de DF es de 13.66%, mientras que en la segunda mitad es de 0.93%.

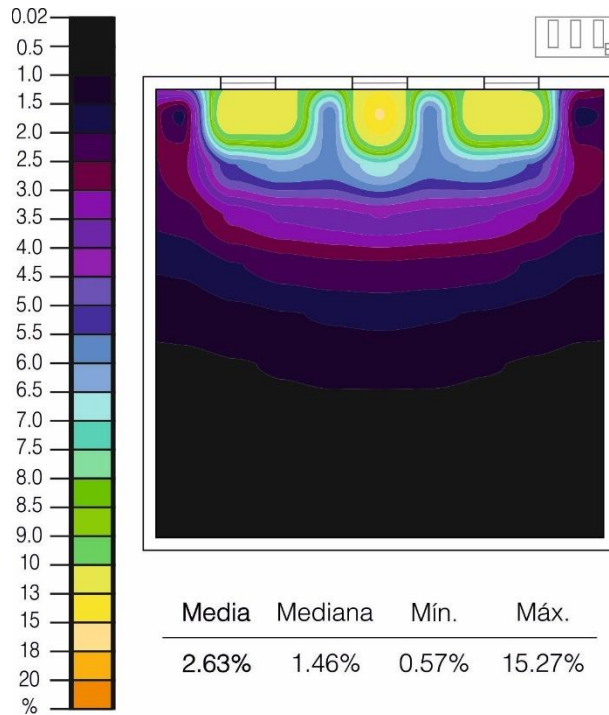


Figura 58. Simulación de DF: Planta de colores falsos. Noveno nivel con un vano tipo B. Fuente: Elaboración propia, programa DIALux.

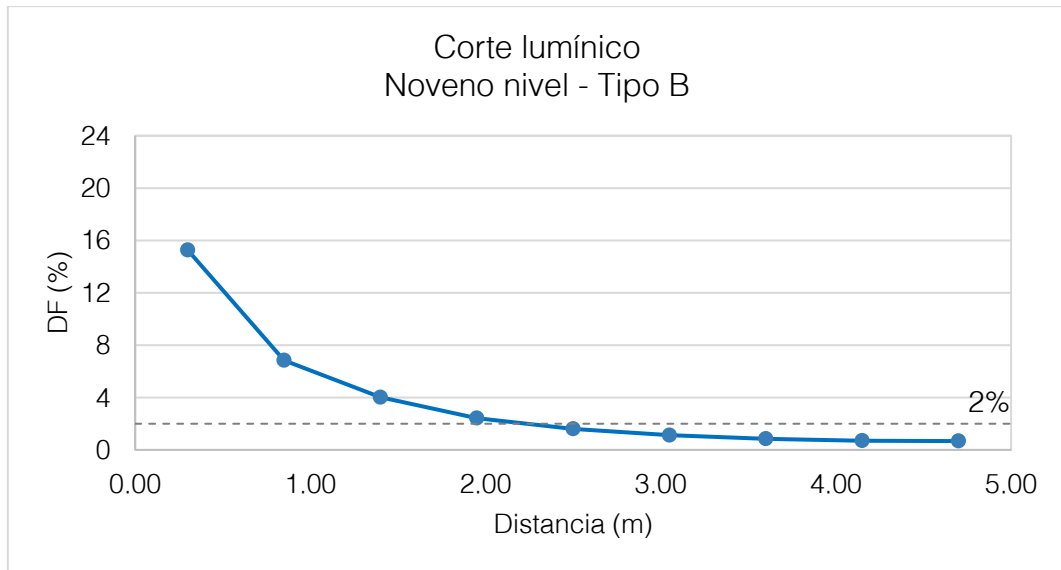


Figura 59. Corte lumínico. Hacia la izquierda la perforación. Noveno nivel con vano tipo B. Fuente: Elaboración propia.

De los 25m² de área total, 10.12 m² tienen 2 o más de 2% de DF (representa el 40% del total). En el fondo del recinto, con distribución horizontal y mayor penetración en la zona central, hay 9.39 m² con DF menor a 1%. Le sigue un área de 5.49 m² con DF menor a 2%, distribuidos de forma horizontal en una zona contenida entre líneas curvas cóncavas poco pronunciadas. La zona de 2-4% de DF cubre un área de 4.94 m² con distribución horizontal que en los laterales se extiende hasta la fachada. 2.55 m² están en el rango de 4-7% y por encima del 7% hay 2.63 m² paralelos a la fachada que se extiende entre los 3 vanos.

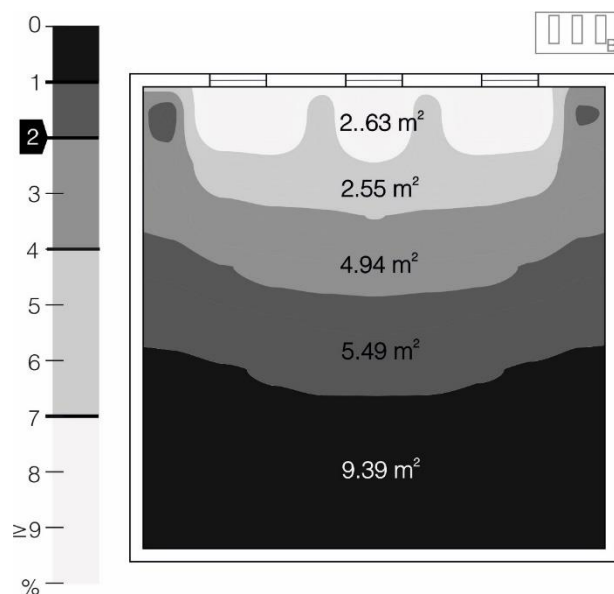


Figura 60. Esquema de planta: Agrupación de áreas según rango de DF. Noveno nivel con un vano tipo B. Fuente: Elaboración propia, en base a programa DIALux.

C. TIPOLOGÍA RETICULAR (9C):

Descripción cualitativa:

DF poco contrastado. La repartición es en líneas curvas poco pronunciadas y horizontales, paralelas a la fachada. La zona con mayor intensidad de iluminación es en la zona central, próxima a la perforación vertical. La menor intensidad lumínica se encuentra en la mitad posterior del recinto.

Descripción cuantitativa:

El DF es 2%. El porcentaje mínimo presentado es de 0.47% y el máximo 6.35%, una **diferencia de 5.88%**.

La mediana de 1.15%, se diferencia en 0.63% de la media.

En el corte lumínico la curva es poco pronunciada, casi plana. En la primera mitad del recinto, próximo a la perforación, la máxima diferencia de DF es de 5.13%, mientras que en la segunda mitad es de 0.65%.

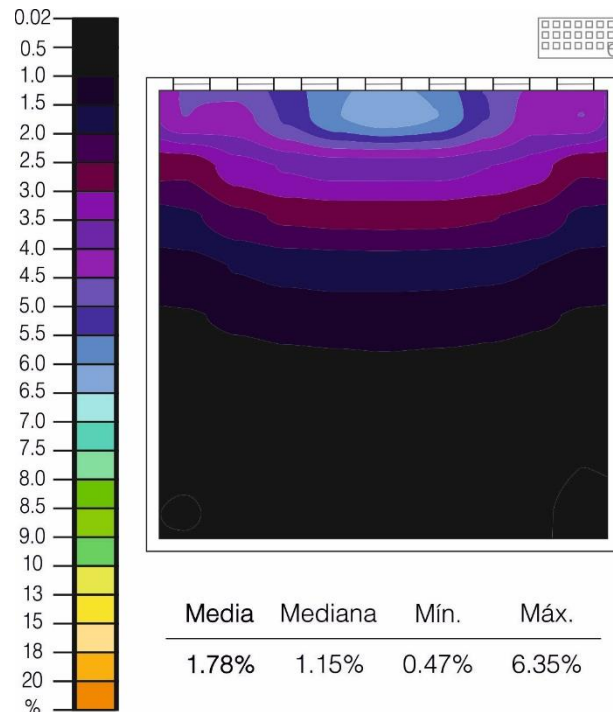


Figura 61. Simulación de DF: Planta de colores falsos. Noveno nivel con un vano tipo C. Fuente: Elaboración propia, programa DIALux.

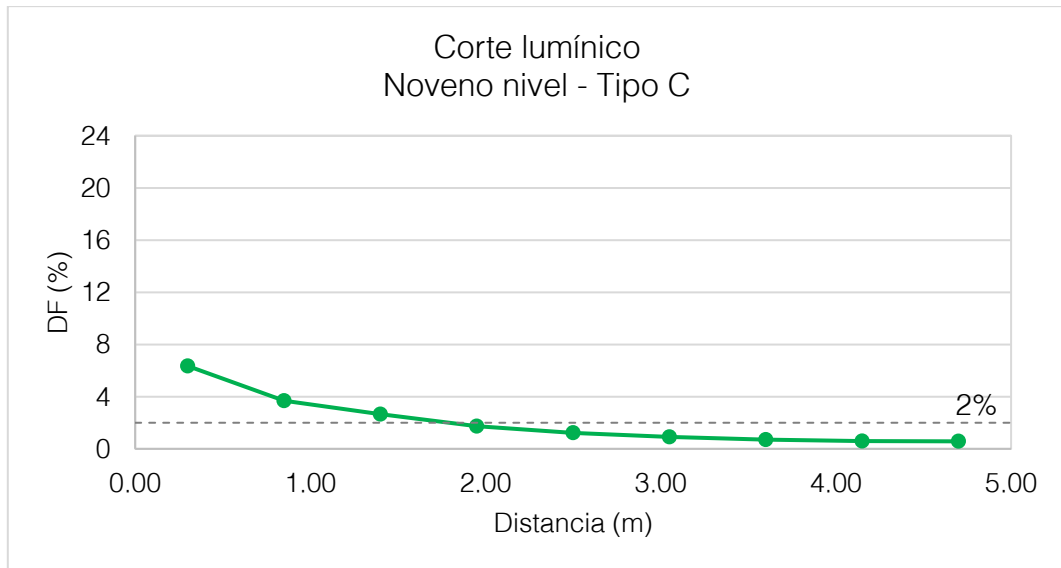


Figura 62. Corte lumínico. Hacia la izquierda la perforación. Noveno nivel con vano tipo C. Fuente: Elaboración propia.

De los 25m² de área total, 8.23 m² tienen 2 o más de 2% de DF (representa el 33% del total). En el fondo del recinto, con distribución horizontal, hay 11.34 m² con DF menor a 1%. Le sigue un área de 5.42 m² con DF menor a 2%, distribuidos de forma horizontal. La zona de 2-4% de DF cubre un área de 5.16 m², también con distribución horizontal contenida entre líneas curvas poco pronunciadas. 3.07 m² están en el rango de 4-7%, extendidos paralelos a la fachada y no existe área con DF por encima del 7%.

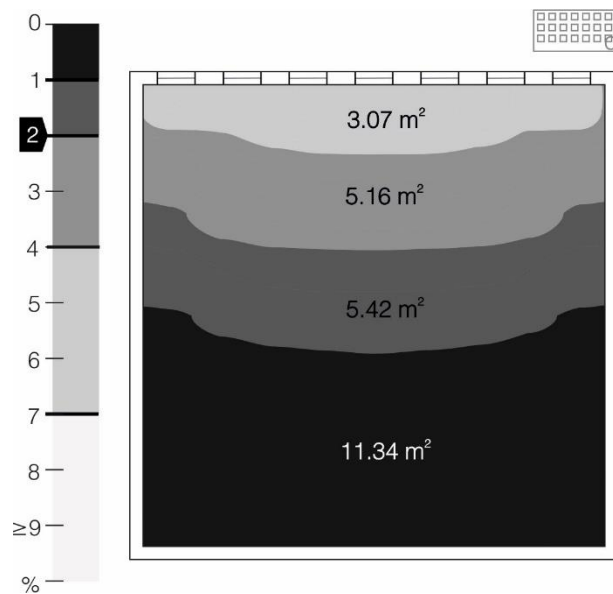


Figura 63. Esquema de planta: Agrupación de áreas según rango de DF. Noveno nivel con un vano tipo C. Fuente: Elaboración propia, en base a DIALux .

4.1.2. Quinto nivel

A. TIPOLOGÍA SINGULAR (5A):

Descripción cualitativa:

DF con alto contraste, mayor nivel de iluminación próximo a la zona central de la perforación en el plano vertical, focalizado en la zona central paralela al vano y no hacia los laterales. El reparto se asemeja a una forma radial, a partir del vano, con curvas cóncavas. Baja intensidad de iluminación en la mitad posterior.

Descripción cuantitativa:

El DF es de **2%**. El porcentaje mínimo presentado es de 0.09% y el máximo de 20.17%, una **diferencia de 20.09%**.

La mediana de 0.50%, se diferencia en 1.39% de la media.

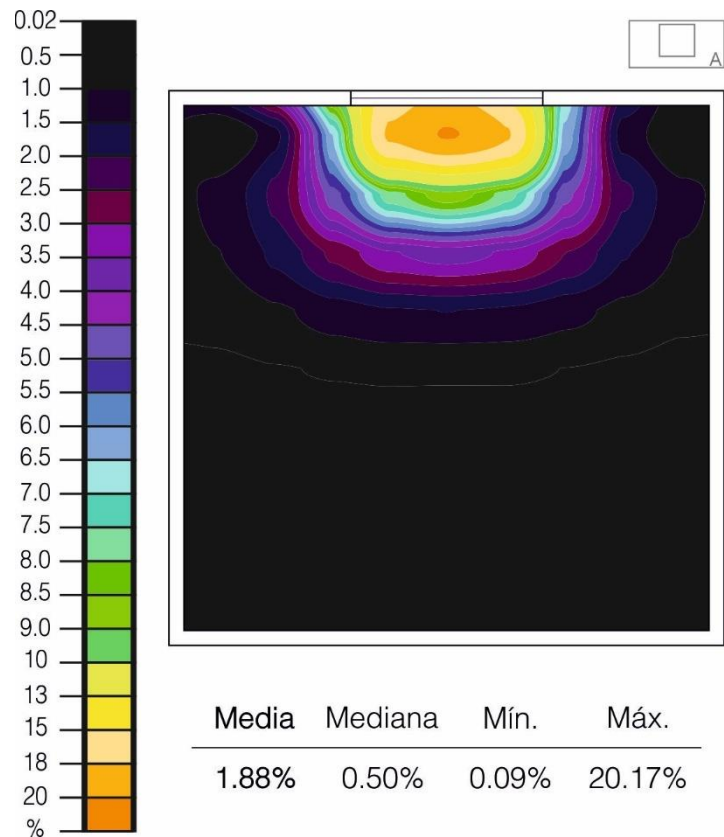


Figura 64. Simulación de DF: Planta de colores falsos. Quinto nivel con un vano tipo A. Fuente: Elaboración propia, programa DIALux.

En el corte lumínico se aprecia una curva pronunciada, en forma de jota invertida, con una marcada disminución de 19.61% del DF en la primera mitad del recinto, próximo a la perforación. Mientras que en la segunda mitad es de 0.45%.

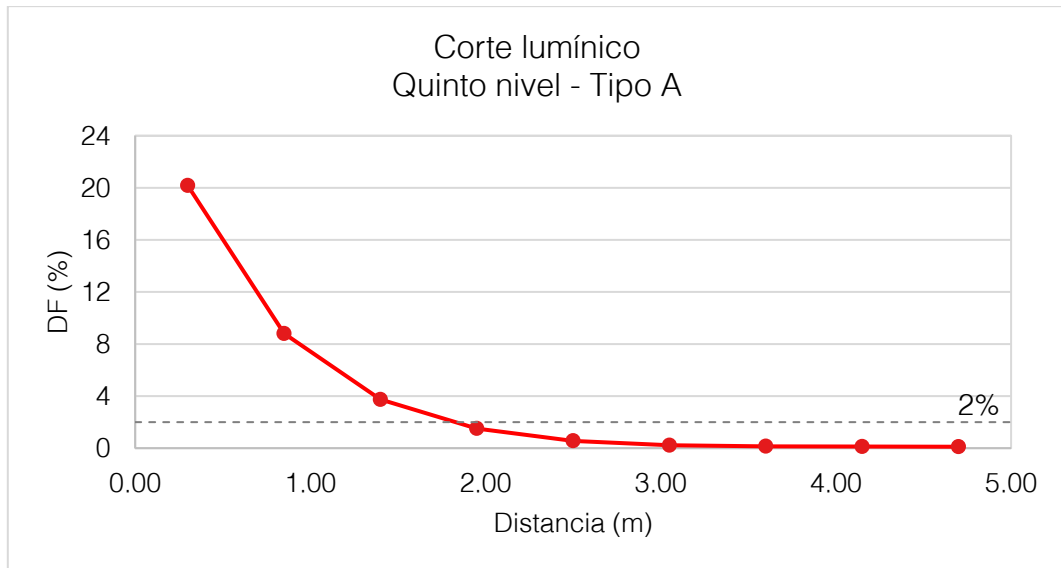


Figura 65. Corte lumínico. Hacia la izquierda la perforación. Quinto nivel con vano tipo A. Fuente: Elaboración propia.

De los 25m² de área total, 5.43 m² tienen 2 o más de 2% de DF (representa el 22% del total). En el fondo del recinto, con distribución horizontal, que en los laterales se extiende hasta la fachada, hay 16.08 m² con DF menor a 1%. Le sigue un área de 3.49 m² con DF menor a 2%, que se distribuye en forma de “U”, con ancho estrecho, desde el plano de la fachada hacia el fondo del espacio. Con la misma distribución en el rango de 2-4%, presenta 2.14 m². 1.33 m² está en el rango de 4-7% y por encima del 7% hay 1.96 m² concentrados próximos al vano.

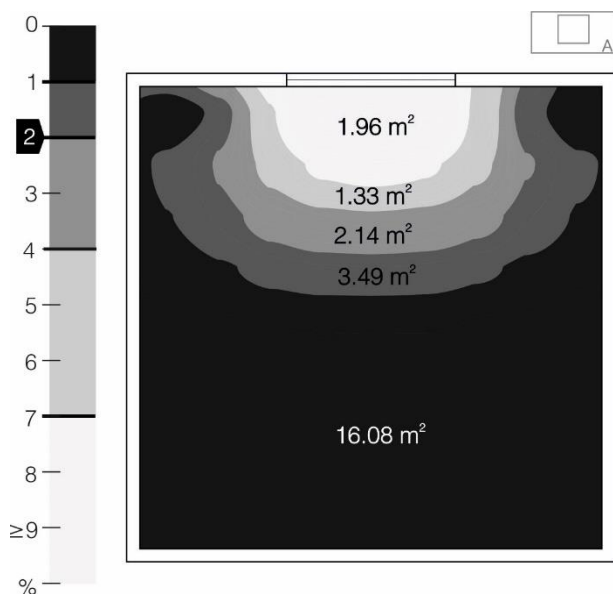


Figura 66. Esquema de planta: Agrupación de áreas según rango de DF. Quinto nivel con un vano tipo A. Fuente: Elaboración propia, programa DIALux.

B. TIPOLOGÍA RÍTMICA (5B):

Descripción cualitativa:

DF contrastado, con mayor nivel de iluminación próximo a las perforaciones. La repartición, próxima a la perforación, se da en líneas curvas cóncavo-convexas paralelas a la fachada. Luego las curvas son menos pronunciadas. Baja intensidad de iluminación en los dos tercios finales del recinto.

Descripción cuantitativa:

El DF es de 2%. El porcentaje mínimo presentado es de 0.08% y el máximo de 12.27%, una diferencia de 12.19%.

La mediana de 0.46%, se diferencia en 1.22% de la media.

En el corte lumínico se aprecia una curva poco pronunciada. La diferencia máxima de DF en la primera mitad del recinto, próximo a la perforación, es de 11.76%, mientras que en la segunda mitad es de 0.40%.

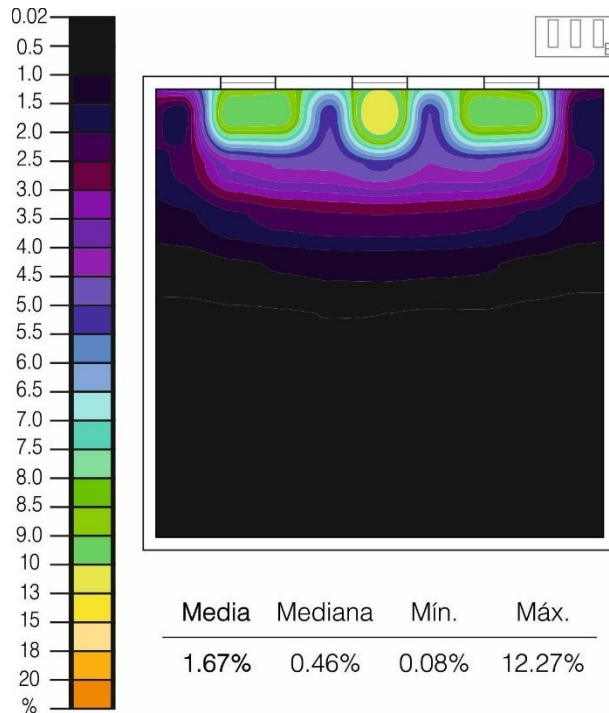


Figura 67. Simulación de DF: Planta de colores falsos. Quinto nivel con vanos tipo B. Fuente: Elaboración propia, programa DIALux.

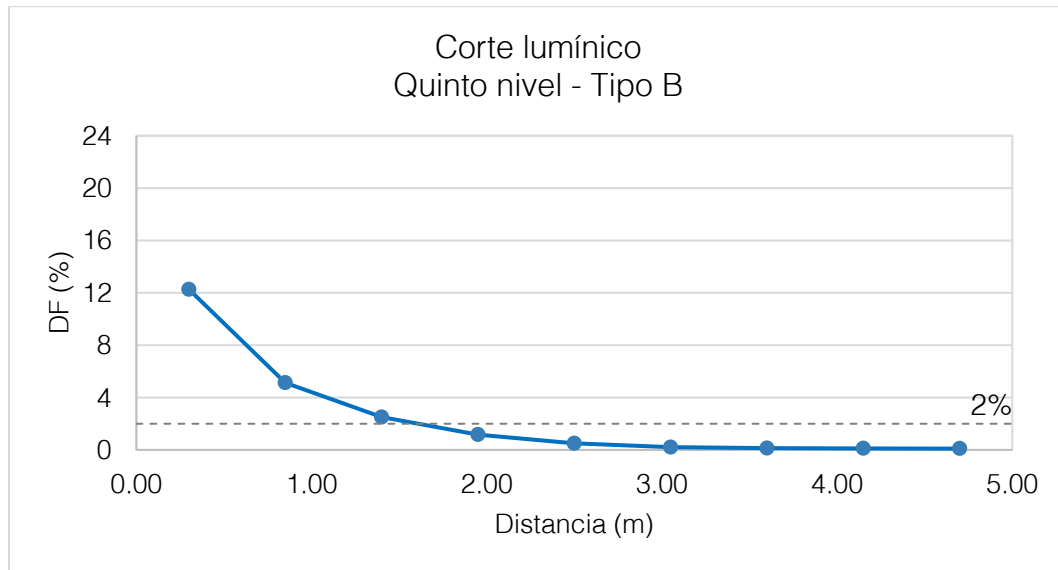


Figura 68. Corte lumínico. Hacia la izquierda la perforación. Quinto nivel con vano tipo B. Fuente: Elaboración propia.

De los 25m² de área total, 6.88m² tienen 2 o más de 2% de DF (representa el 28% del total). En el fondo del recinto, con distribución horizontal y mayor penetración en la zona central, hay 15.17 m² con DF menor a 1%. Le sigue un área de 2.95 m² con DF menor a 2%, distribuidos de forma horizontal, cuyos laterales se extienden hacia la fachada. El rango de 2-4% de DF cubre un área de 2.90 m² con una distribución horizontal, angosta, que en los laterales se extiende hasta la fachada. 3.52 m² están en el rango de 4-7% y por encima del 7% hay 0.46 m² ubicados paralelos a los 3 vanos.

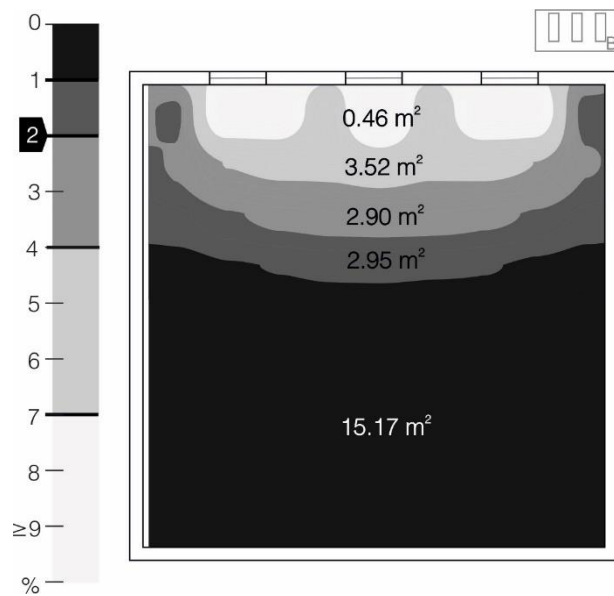


Figura 69. Esquema de planta: Agrupación de áreas según rango de DF. Quinto nivel con vanos tipo B. Fuente: Elaboración propia, programa DIALux.

C. TIPOLOGÍA RETICULAR (5C):

Descripción cualitativa:

DF contrastado con mayor nivel de iluminación próximo a las perforaciones. La repartición parece ser en líneas curvas cóncavas poco pronunciadas y paralelas a la fachada. La zona con mayor intensidad se concentra en el primer tercio del recinto y domina en el espacio un bajo nivel de iluminación en el fondo del recinto.

Descripción cuantitativa:

El DF es de 1%. El porcentaje mínimo presentado es de 0.06% y el máximo de 4.42%, una diferencia de 4.36%.

La mediana de 0.47%, se diferencia en 0.55% de la media.

En el corte lumínico muestra que la curva es poco pronunciada, casi plana. En la primera mitad del recinto la diferencia del DF es de 3.92%, y en la segunda mitad, de 0.42%.

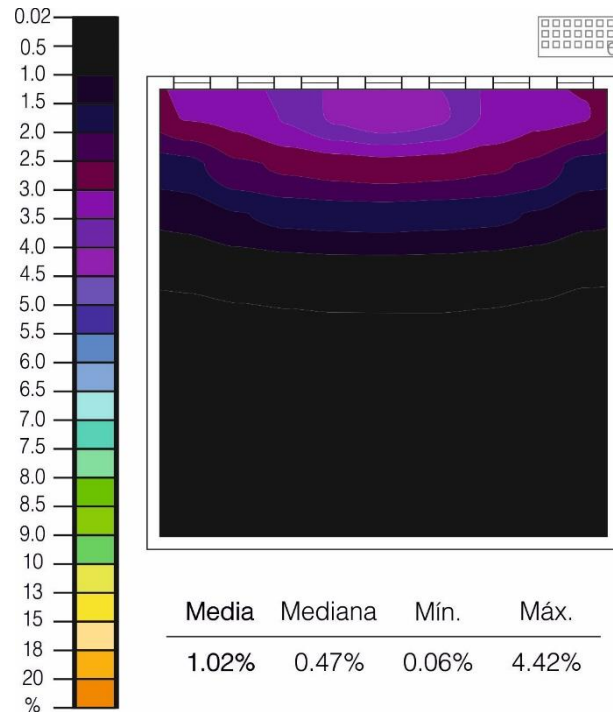


Figura 70. Simulación de DF: Planta de colores falsos. Quinto nivel con un vano tipo C. Fuente: Elaboración propia, programa DIALux.

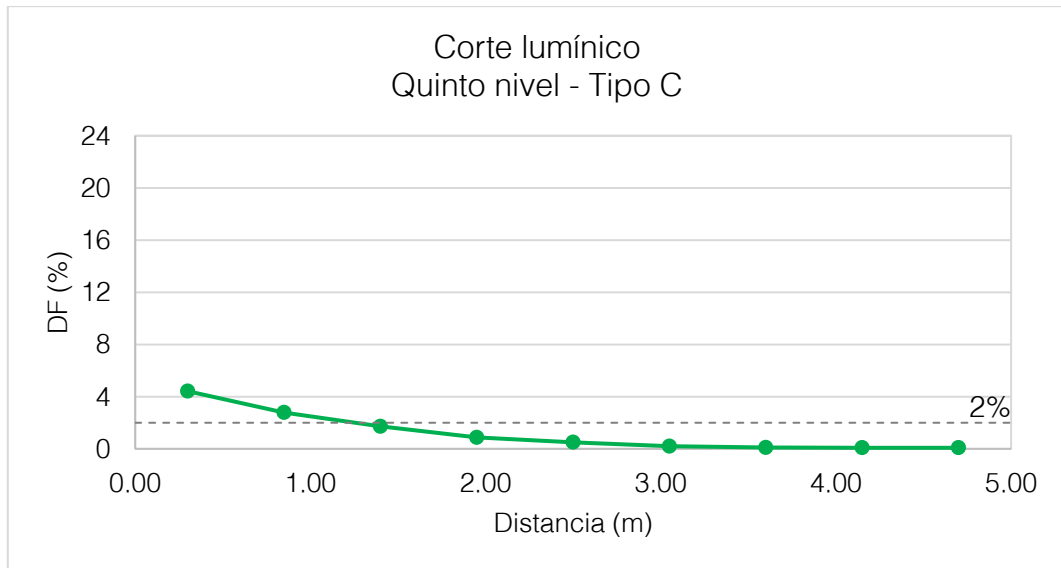


Figura 71. Corte lumínico. Hacia la izquierda la perforación. Quinto nivel con vano tipo C. Fuente: Elaboración propia.

De los 25m² de área total, 5.50 m² tienen 2 o más de 2% de DF (representa el 22% del total). En el fondo del recinto, con distribución horizontal, hay 16.18 m² con DF menor a 1%. Le sigue un área de 3.32m² con DF menor a 2%, distribuidos de forma horizontal con mayor penetración en la zona central. La zona de 2-4% cubre un área de 4.89 m², también con distribución horizontal, más ancha que la anterior. 0.61 m² están en el rango de 4-7%, paralelos al centro de la fachada. No existe área con DF por encima del 7%.

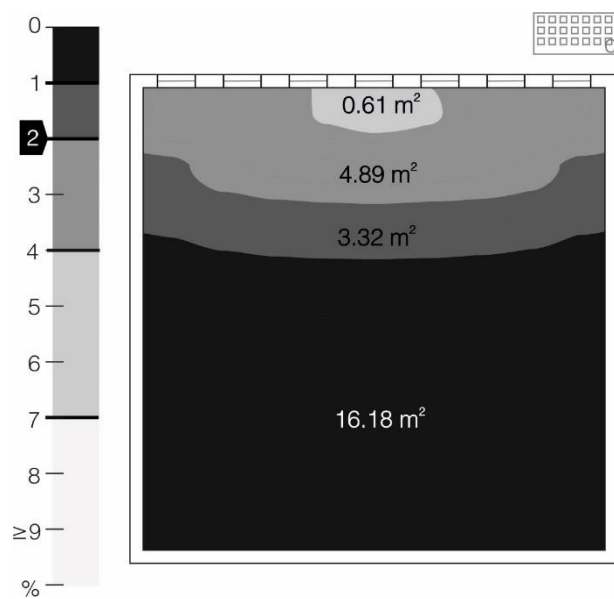


Figura 72. Fig. x: Rangos de DF agrupados por áreas en el recinto. Quinto nivel con un vano tipo C. Fuente: Elaboración propia, en base a DIALux.

4.1.3. Primer nivel

A. TIPOLOGÍA SINGULAR (1A):

Descripción cualitativa:

DF con alto contraste, mayor nivel de iluminación concentrado próximo a la perforación en el plano vertical, focalizado en la zona central paralela al vano y no hacia los laterales. El resto del recinto tiene una baja intensidad lumínica.

Descripción cuantitativa:

El DF es de 1%. El porcentaje mínimo presentado es de 0.03% y el máximo de 12.71%, una diferencia de 12.68%.

La mediana de 0.08%, se diferencia en 0.77% de la media.

En el corte lumínico se aprecia una curva pronunciada en el primer tercio del recinto seguida por una línea casi plana. Hay una marcada disminución de 12.62% del DF en la primera mitad del recinto, próximo a la perforación. En la segunda mitad la máxima variación es de 0.05%.

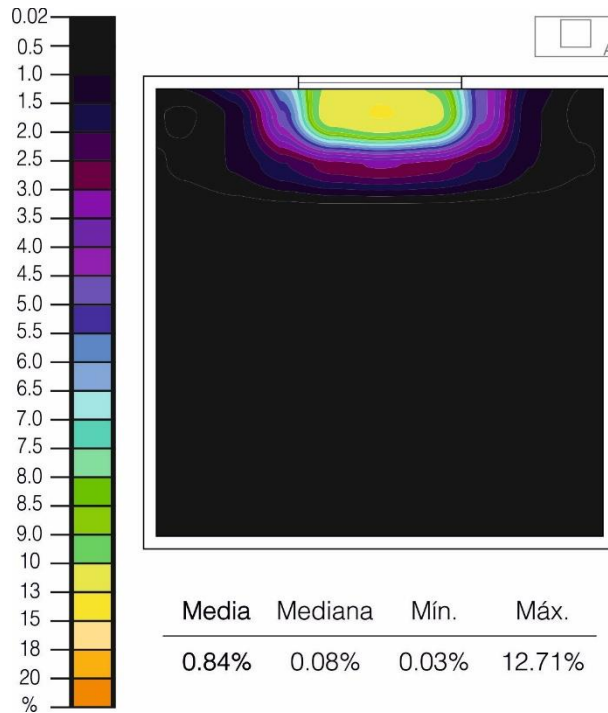


Figura 73. Simulación de DF: Planta de colores falsos. Primer nivel con un vano tipo A. (Elaboración propia, programa DIALux).

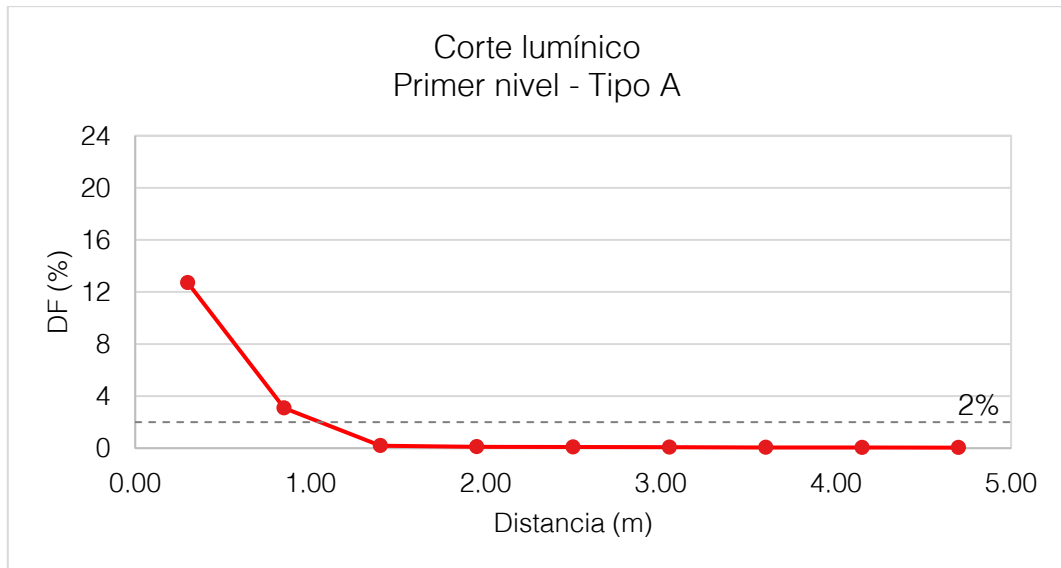


Figura 74. Corte lumínico. Hacia la izquierda la perforación. Primer nivel con vano tipo A. Fuente: Elaboración propia.

De los 25m² de área total, 2.79 m² tienen 2 o más de 2% de DF (representa el 11% del total). En el fondo del recinto, con laterales que se extienden hasta la fachada hay 20.98 m² con DF menor a 1%. Le sigue un área de 1.23m² con DF menor a 2%, que se distribuye en forma de “U” angosta desde el plano de la fachada hacia el fondo del espacio. Con la misma distribución en el rango de 2-4%, presenta 1.10 m², le siguen 0.67 m² en el rango de 4-7% y por encima del 7% hay 1.02 m² concentrados próximos al vano.

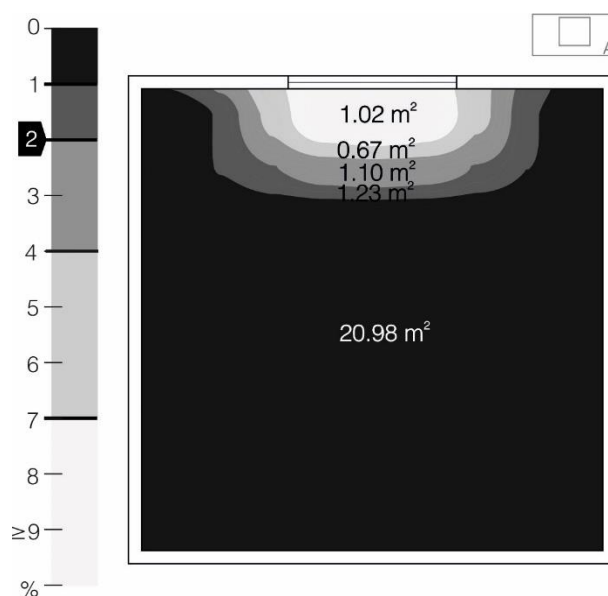


Figura 75. Esquema de planta: Agrupación de áreas según rango de DF. Primer nivel con un vano tipo A. Fuente: Elaboración propia, en base a programa DIALux.

B. TIPOLOGÍA RÍTMICA (1B):

Descripción cualitativa:

DF contrastado, el nivel de iluminación más alto está próximo a los vanos. La repartición parece ser en líneas curvas sinuosas cerradas. Después de la zona iluminada el resto del espacio presenta baja intensidad de iluminación.

Descripción cuantitativa:

El DF es de 1%. El porcentaje mínimo presentado es de 0.03% y el máximo de 7.14%, una **diferencia de 7.11%**.

La mediana de 0.07%, se diferencia en 0.66% de la media.

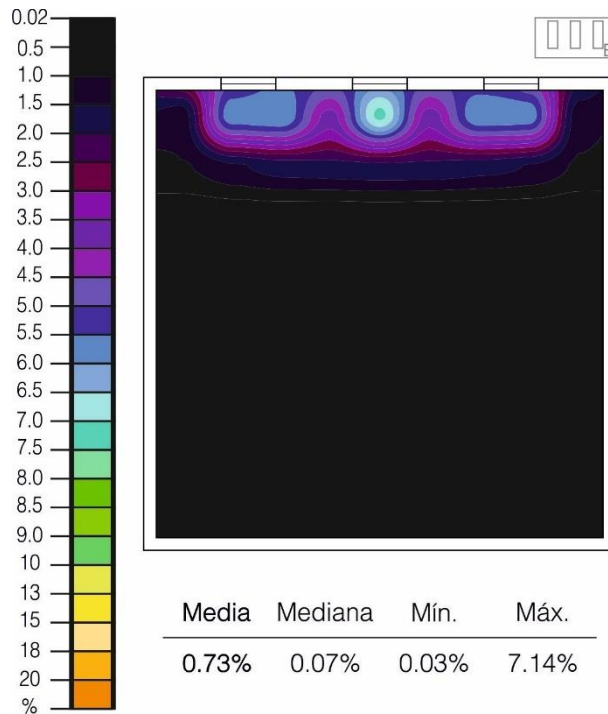


Figura 76. Simulación de DF: Planta de colores falsos. Primer nivel con vanos tipo B. Fuente: Elaboración propia, programa DIALux.

En el corte lumínico la curva es casi plana, con diferencia en el primer tercio del recinto. La diferencia de DF en la primera mitad es de 7.06%, y en la mitad del fondo es de 0.04%.

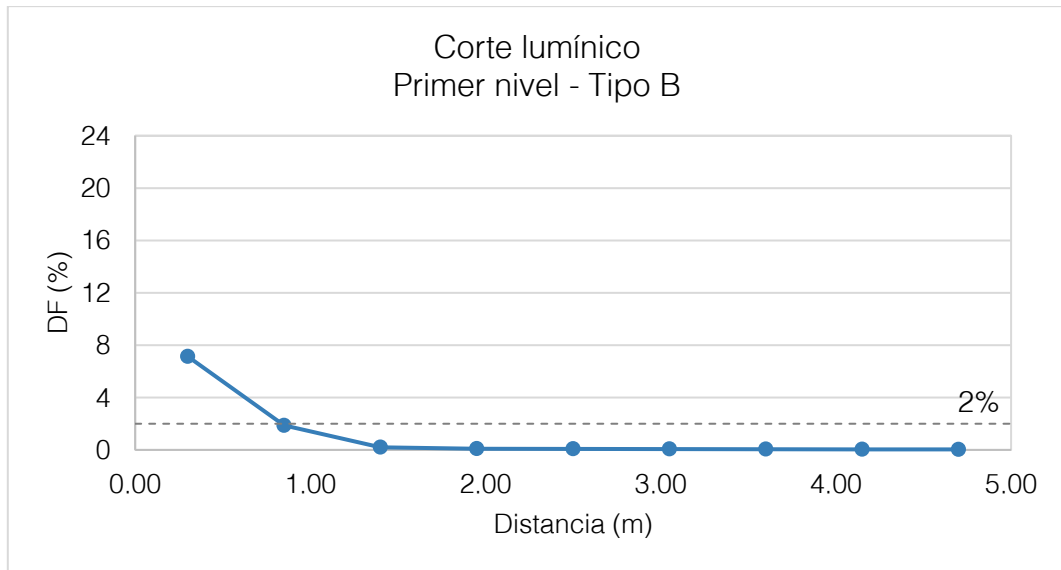


Figura 77. Corte lumínico. Hacia la izquierda la perforación. Primer nivel con vano tipo B. Fuente: Elaboración propia.

De los 25m² de área total, 3.19 m² tienen 2 o más de 2% de DF (representa el 13% del total). En el fondo del recinto, con distribución horizontal hay 19.89 m² con DF menor a 1%. Le sigue un área de 1.92 m² con DF menor a 2%, distribuidos de forma horizontal curva. El rango de 2-4% cubre un área angosta de 1.31 m² con una distribución horizontal curva que en los laterales se extiende hasta la fachada. 1.80 m² están en el rango de 4-7% y por encima del 7% hay 0.08 m² concentrados en un punto próximo a la perforación central.

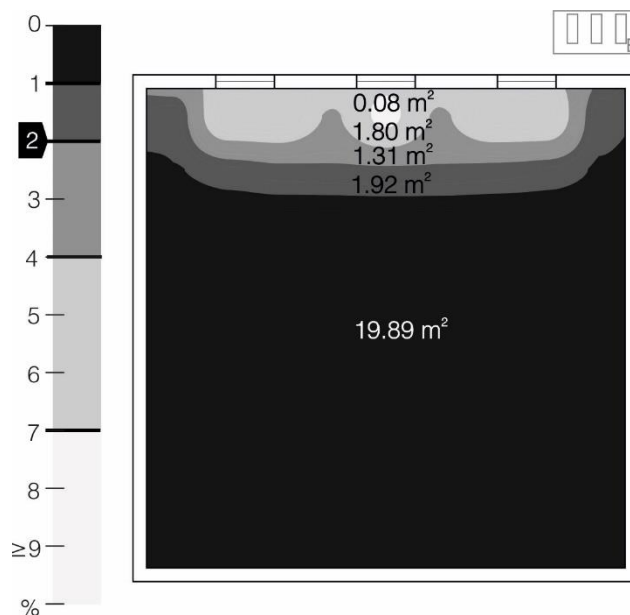


Figura 78. Esquema de planta: Agrupación de áreas según rango de DF. Primer nivel con vanos tipo B. (Elaboración propia, programa DIALux).

C. TIPOLOGÍA RETICULAR (1C):

Descripción cualitativa:

DF poco contrastado. El recinto tiene una intensidad de iluminación muy baja. La zona con mayor iluminación se encuentra concentrada entre las perforaciones centrales.

Descripción cuantitativa:

El DF es de 0.2%. El porcentaje mínimo presentado es de 0.02% y el máximo de 1.16%, una diferencia de 1.14%.

La mediana de 0.05%, se diferencia en 0.20% de la media.

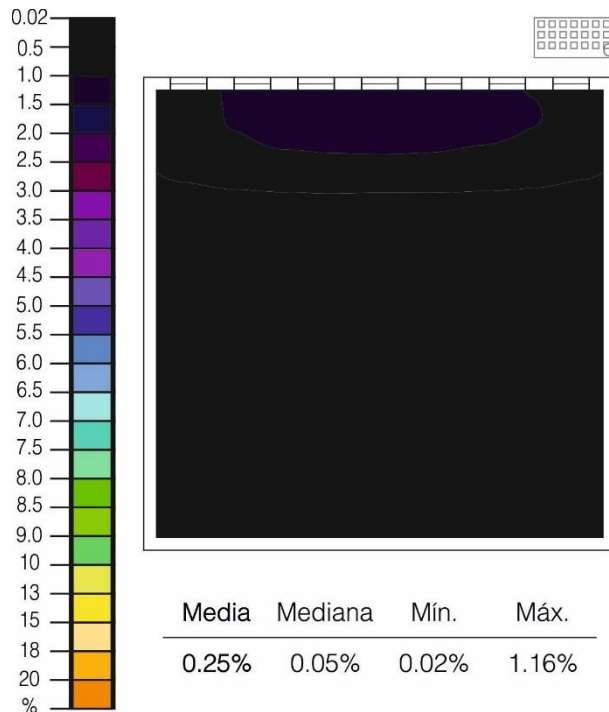


Figura 79. Simulación de DF: Planta de colores falsos (%). Primer nivel con un vano tipo C. Fuente: Elaboración propia, programa DIALux.

En el corte lumínico muestra que la curva casi plana, con un ligero incremento en los dos puntos más cercanos a la perforación. En la primera mitad del recinto la diferencia de DF es del 1.08%, en la segunda mitad es de 0.03%,

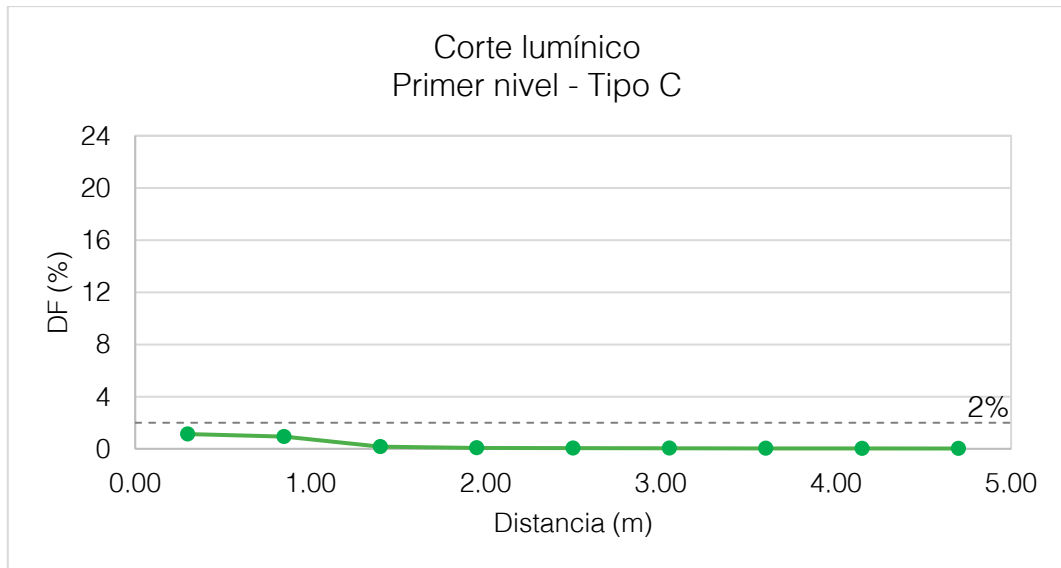


Figura 80. Corte lumínico. Hacia la izquierda la perforación. Primer nivel con vano tipo C. Fuente: Elaboración propia.

De los 25m² de área total, no hay área con 2 o más de 2% de DF. La mayor parte del recinto tiene un porcentaje de entre 0-1, que cubre un área de 22.78 m². Próximo a las perforaciones centrales se extiende un área de 2.22 m² con DF de entre 1-2%.

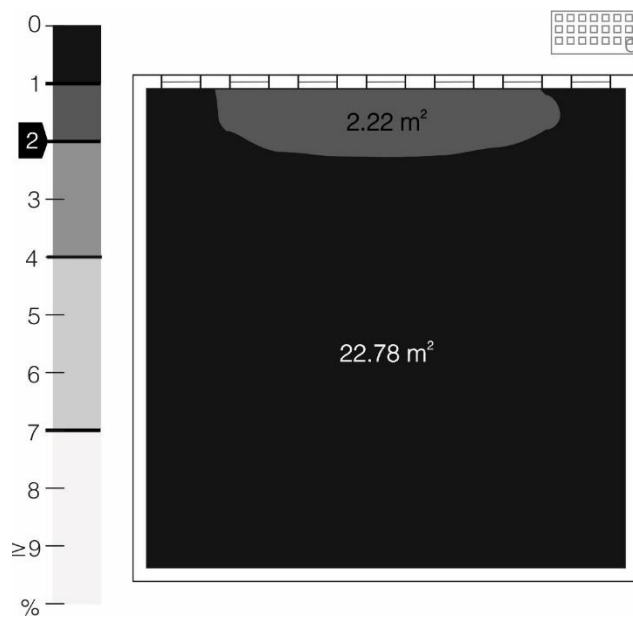


Figura 81. Rangos de DF agrupados por áreas en el recinto. Primer nivel con un vano tipo C. Fuente: Elaboración propia, en base a DIALux.

CAPÍTULO 5: ANÁLISIS COMPARATIVO

Para valorar la luz hay que hacerla brillar en la oscuridad.
Tadao Ando

5.1. VALORES MÍNIMOS Y MÁXIMOS DE DF

En el noveno nivel, con mayor SVF, la diferencia entre los niveles mínimos es poco acentuada, se mantiene entre 0.47-0.61%. Sin embargo, la diferencia entre los valores máximos es marcada, van desde 6.35 hasta 23.92%. La tipología A presenta los valores más altos y la tipología C los más bajos.

En comparación con los otros niveles, se mantiene el patrón de niveles bajos próximos y niveles altos diferenciados.

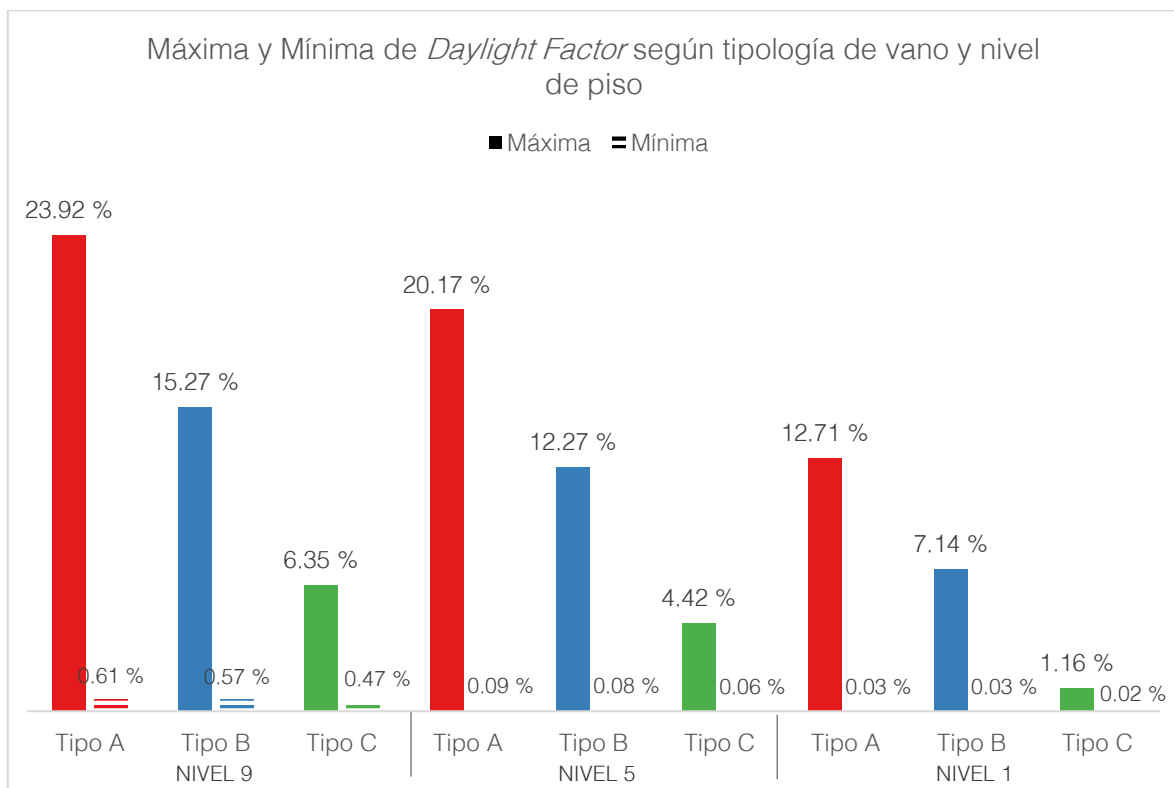


Figura 82. Comparación entre mínimos y máximo de DF según tipología de perforación. Fuente: Elaboración propia.

En comparativa entre los tres ángulos de SVF, se puede notar una tendencia en la disminución de los valores de DF máximo, que tiene distinta variación dependiendo de la tipología. Con menor vista de cielo, la tipología A tiene una reducción más acelerada del valor máximo, caso opuesto de la tipología C. Con menor SVF los valores de DF mínimo son más próximos entre las tipologías comparadas.

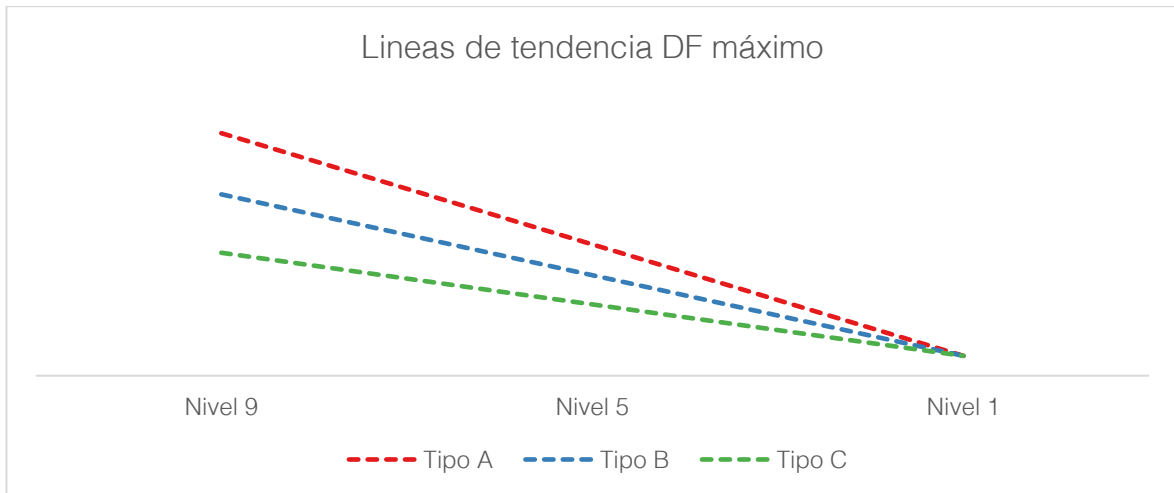


Figura 83. Comparación de tendencia de DF máximo por tipología con diferente SVF. Fuente: Elaboración propia.

5.2. COMPARACIÓN ENTRE MEDIA Y MEDIANA

La tipología de perforación que favorece una mediana de DF más cercana a la media, es la reticular (Tipo C); seguida por la rítmica (tipo B) y finalmente la singular (tipo A). Esto sucede en cualquiera de los niveles analizados. A menor ángulo de vista de cielo es mayor la diferencia entre la media y la mediana.

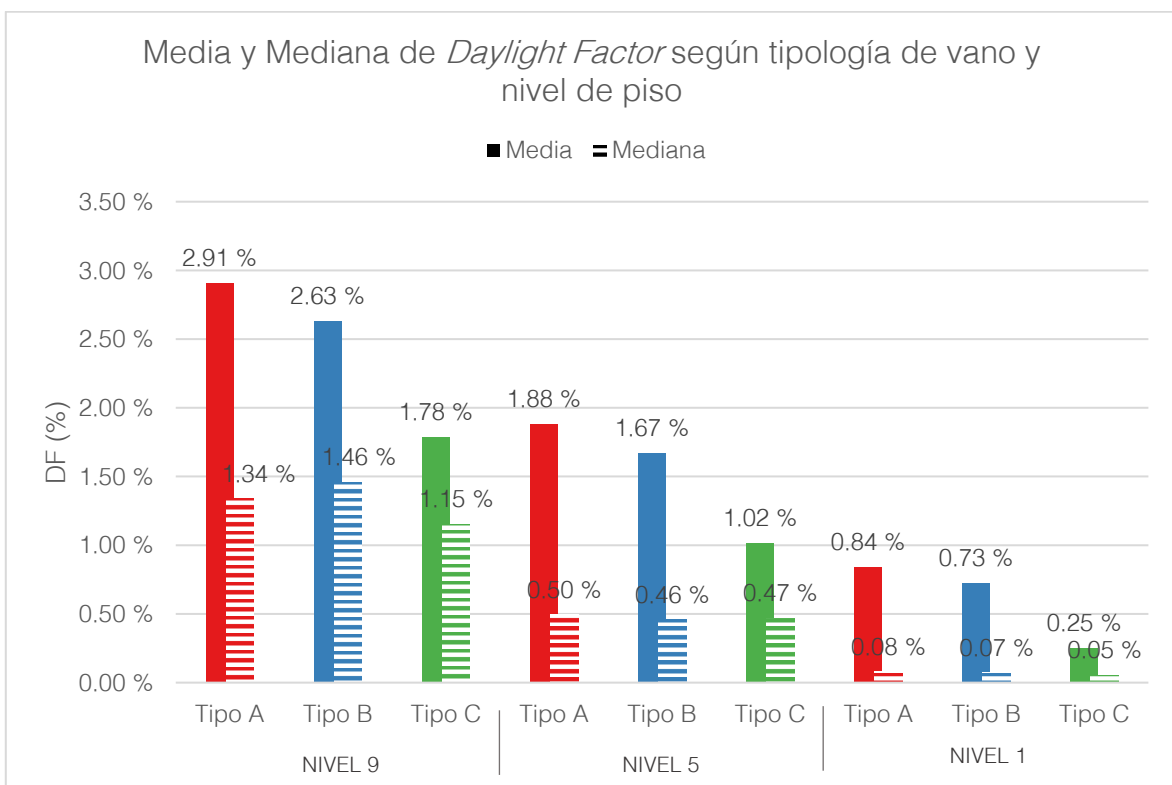
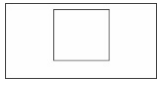
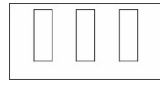
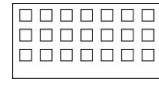


Figura 84. Comparación entre la mediana y el DF medio según tipologías de perforación. (Elaboración propia).

- *Daylight Factor* medio: Se compara el DF medio para conocer cuál es el porcentaje de reducción entre las tipologías analizadas.

En los casos estudiados y dependiendo de la geometría y distribución de las perforaciones; en cualquiera de los niveles, la tipología A es la de mayor DF, se considera este valor como referencia del 100%. Las variaciones entre el tipo A y B pueden ser entre 10 y 14%, según el nivel analizado; las variaciones entre el tipo A y C disminuyen entre 39 y 70%. Los valores de A y B son más próximos, en cambio, el tipo C puede triplicar el porcentaje de diferencia de B con A.

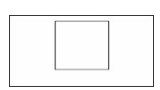
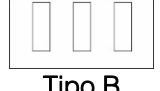

Tabla 8. Comparación de valores de DF medio según nivel de análisis. Fuente: Elaboración propia

				
		TIPO A	TIPO B	TIPO C
9no nivel	DF medio	2.91	2.63	1.78
	Disminución DF medio	100% (Referencia)	-10.00%	-39.00%
5to nivel	DF medio	1.88	1.67	1.02
	Disminución DF medio	100% (Referencia)	-11.00%	-46.00%
1er nivel	DF medio	0.84	0.73	0.25
	Disminución DF medio	100% (Referencia)	-14.00%	-70.00%

Nota: Se considera 100% al DF de la tipología A ya que es el valor más alto en cada nivel.

Las tipologías también se ven afectadas según el SVF. El tipo A reduce el DF hasta en 71%; valor similar al 72% del tipo B; el tipo C disminuye hasta en 86%, siendo la más afectada por la reducción del SVF.

Tabla 9. Comparación de valores de DF medio según tipología y variación de nivel. Fuente: Elaboración propia

		9no nivel	5to nivel	1er nivel
 Tipo A	DF medio	2.91	1.88	0.84
	Disminución DF medio	100% (Referencia)	-35.00%	-71.00%
 Tipo B	DF medio	2.63	1.67	0.73
	Disminución DF medio	100% (Referencia)	-36.00%	-72.00%
 Tipo C	DF medio	1.78	1.02	0.25
	Disminución DF medio	100% (Referencia)	-43.00%	-86.00%

Nota: Se considera 100% al DF del noveno nivel ya que en los casos estudiados es el valor más alto.

5.3. ÁREAS SEGÚN RANGO DE DF

Con 25% de perforación en el plano vertical para un espacio de proporción 2:2:1, el rango que abarca la mayor área es el de 0-1%.

A menor SVF el área ocupada por el rango de 0-1% incrementa, el área del resto de rangos disminuye o desaparece.

Con mayor SVF la repartición de áreas es más equitativa.

La tipología C, con menor SVF, pierde por completo áreas en los tres rangos más altos.

Entre los niveles analizados el rango que se reduce en menos porcentaje en la tipología C es el de 1-2%; en la tipología B el de 4-7%; en la tipología A, de 7 a más%.

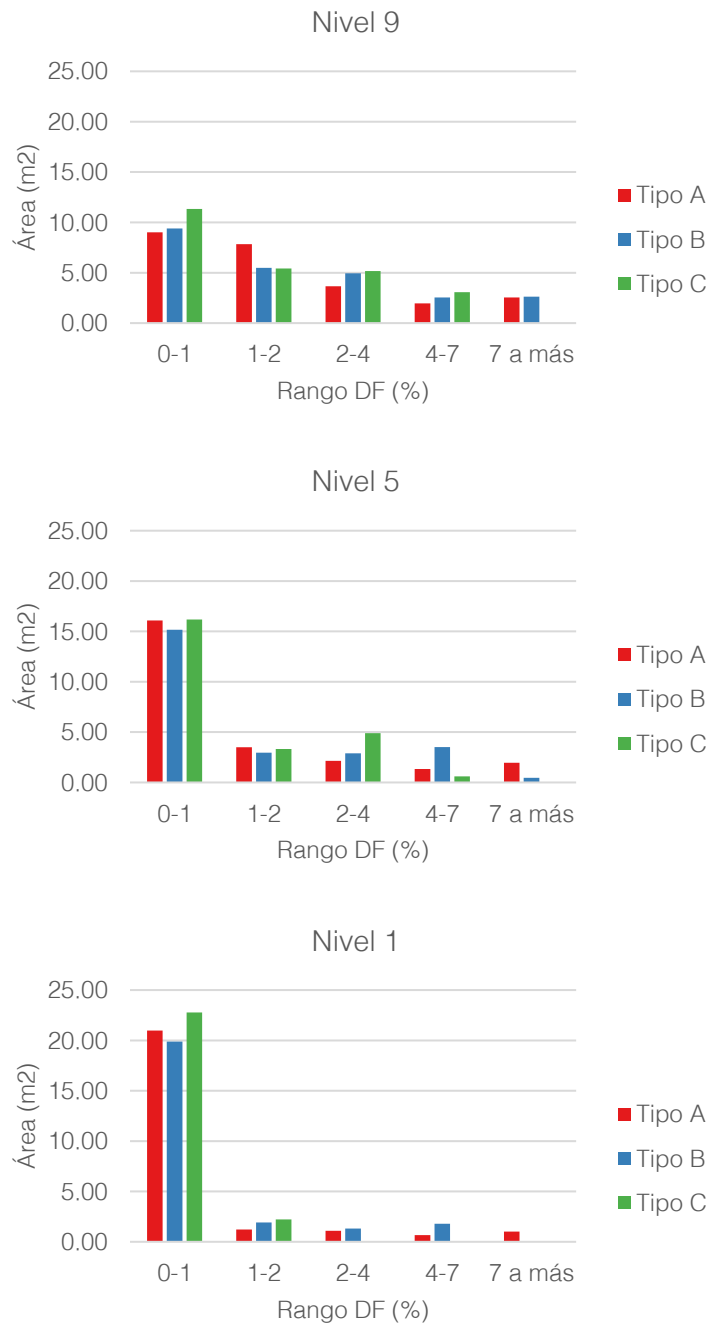


Figura 85. Áreas ocupadas según rango de DF. Comparación por tipologías y niveles.

5.4. CURVA DE ILUMINACIÓN

- Comparación entre tipologías:

La comparación se realiza en el noveno nivel, mayor SVF. En la mitad posterior del recinto las diferencias son mínimas y alcanzan valores similares. La diferencia más relevante se da en la primera mitad. La máxima diferencia encontrada se da en el primer punto frente a la fachada, entre el tipo A y C es de 18%. La curva de A es más pronunciada, seguida por B, y finalmente C en una curva casi plana.

En la tipología A y B los valores de DF por debajo de 2% están en la mitad posterior del recinto, mientras que en la tipología C se alcanzan poco antes de la primera mitad.

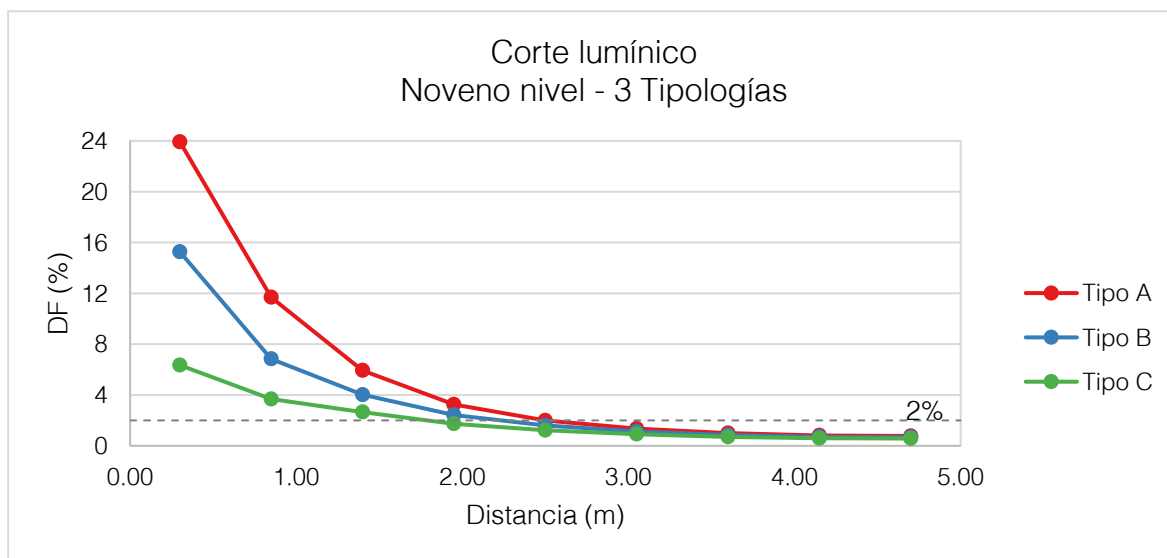


Figura 86. Comparación de curva de iluminación entre tipologías. Noveno nivel. Fuente: Elaboración propia.

En los siguientes niveles se mantiene una marcada diferencia en el primer punto de medición y se evidencia que la profundidad alcanzada por la luz disminuye.

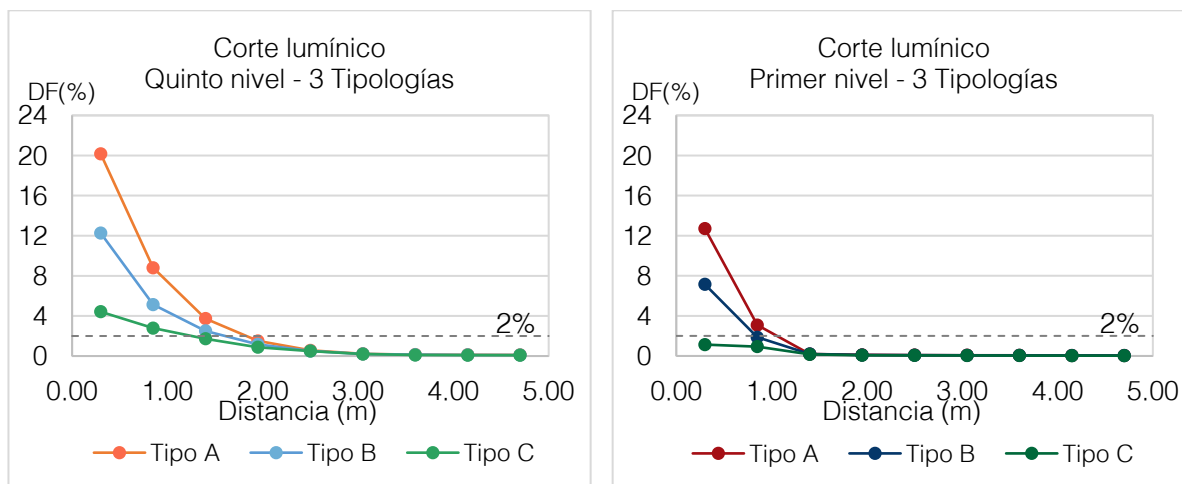


Figura 87. Comparación de curva de iluminación con diferentes tipologías y niveles. Fuente: Elaboración propia.

- **Comparación ente niveles:**

La tipología A mantiene la tendencia de una curva pronunciada. Entre el quinto y noveno nivel, los tres últimos puntos de medición no tienen marcadas variaciones, la intensidad de iluminación es menor en el nivel 5. En el primer nivel la diferencia es más pronunciada, la mayor intensidad se concentra en los dos primeros puntos, próximos a la perforación, y una línea casi plana en las siguientes mediciones, este es el nivel con menor iluminación.

En el noveno nivel los valores de DF por debajo de 2% están en la mitad posterior del recinto; en el quinto nivel, se alcanzan poco antes de la primera mitad; y en el primer nivel, antes del primer tercio.

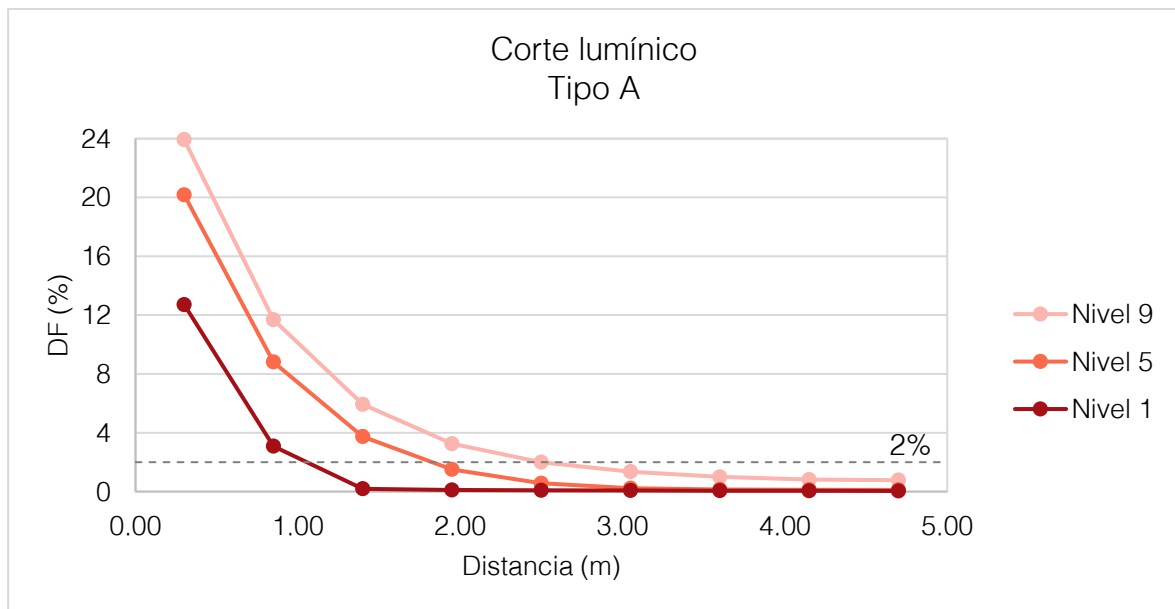


Figura 88. Comparación de la tipología A en distintos niveles. Fuente: Elaboración propia.

En la tipología B la intensidad lumínica es menor que en la A. Entre el noveno y quinto nivel se mantiene la tendencia de la curva, que además es menos pronunciada que el tipo A. Los cuatro últimos puntos de medición no tienen marcadas variaciones. En el primer nivel la diferencia es más pronunciada, la mayor intensidad se concentra en los dos primeros puntos, próximos a la perforación, y una línea casi plana en las siguientes mediciones, es el nivel con menor iluminación.

En el noveno nivel los valores de DF por debajo de 2% están en la mitad posterior del recinto; en el quinto nivel, se alcanzan poco después del primer tercio; y en el primer nivel, antes del primer cuarto.

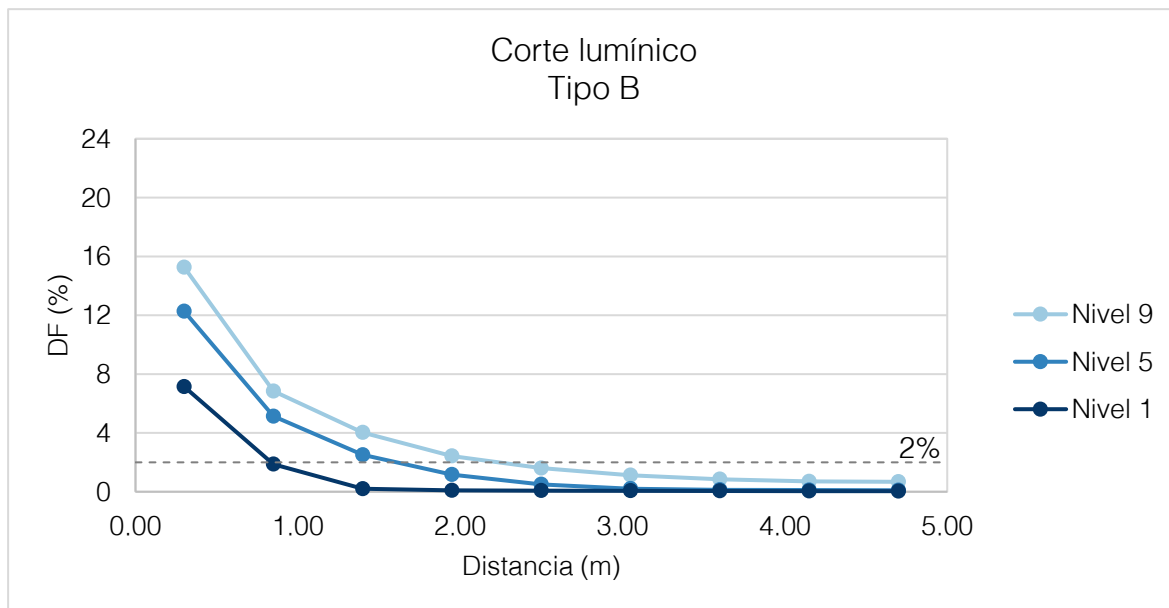


Figura 89. Comparación de la tipología B en distintos niveles. Fuente: Elaboración propia.

En la tipología C la intensidad de iluminación es menor que en la A y B. Entre el noveno y quinto nivel se mantiene la tendencia de la curva. Los seis últimos puntos de medición no tienen marcadas variaciones. En el primer nivel la diferencia es más pronunciada, los dos primeros puntos tienen una intensidad lumínica similar y el resto de puntos forman una línea casi plana, es el nivel con menor iluminación.

En el noveno nivel los valores de DF por debajo de 2% están antes de la mitad posterior del recinto; en el quinto nivel, se alcanzan poco antes del primer tercio; y en el primer nivel, no se alcanzan valores por encima de 2%.

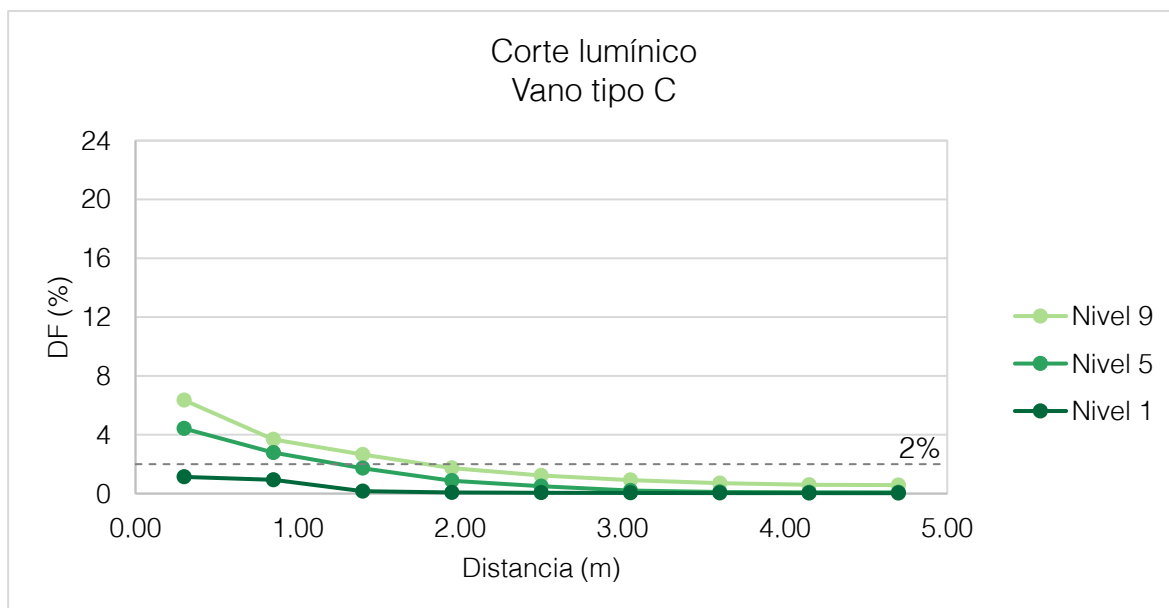


Figura 90. Comparación de la tipología C en distintos niveles. Fuente: Elaboración propia.

5.5. DISTRIBUCIÓN DE LA LUZ

Considerando que, como regla general, la profundidad útil alcanzada por la luz es el doble de la distancia de la altura entre el piso y la parte superior de la ventana (h), se analizan las plantas con una grilla de modulación a la mitad de “h”.

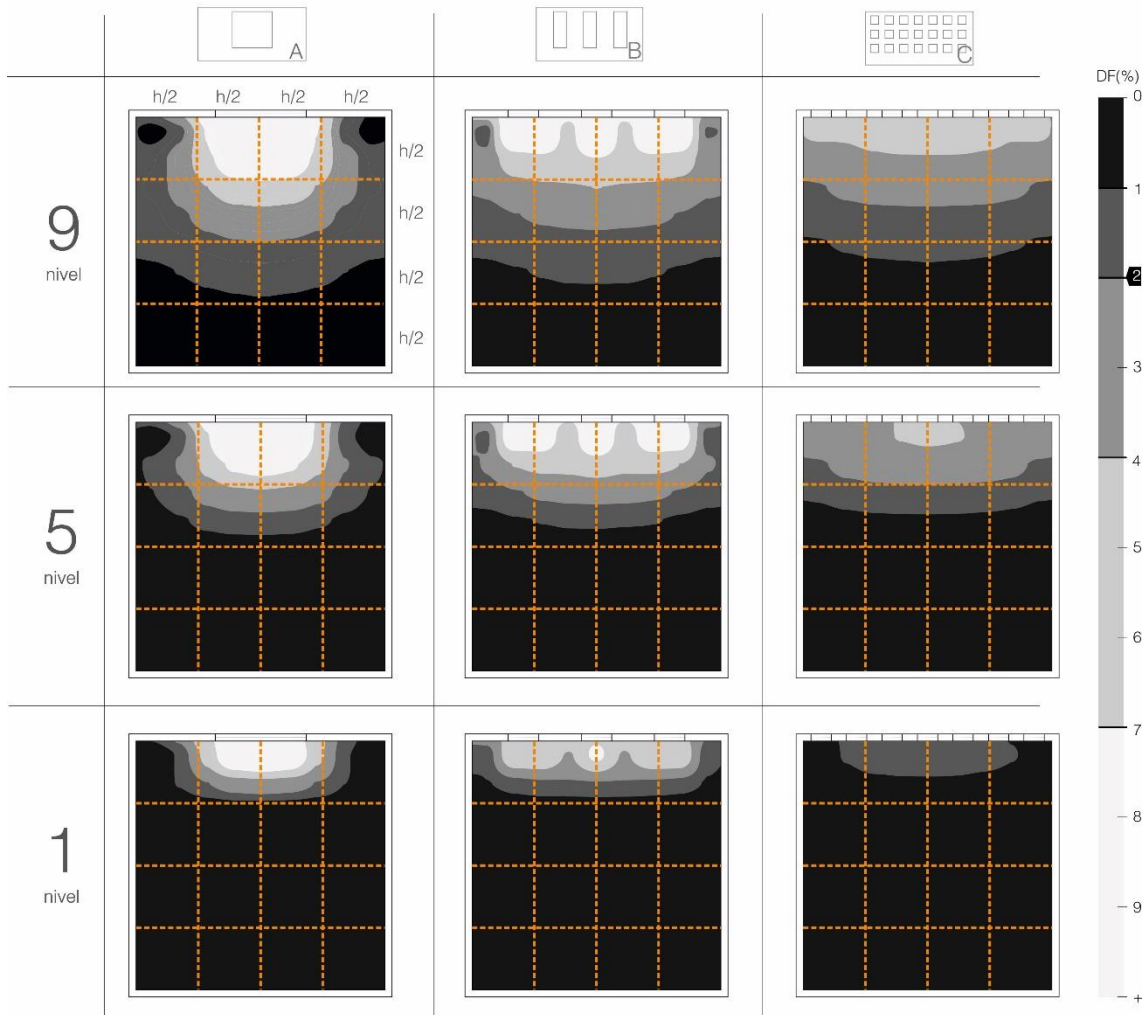


Figura 91. Comparativo de distribución de iluminación natural. Grilla de 1.25 x 1.25m .DF de tres tipologías en tres niveles de altura. Fuente: Elaboración propia en base a DIALux.

- **Comparación entre tipologías:**

Comparando el noveno nivel, se observa que en la tipología A, la mayor intensidad de iluminación ocupa una zona del ancho de “h” ubicado en la zona central próxima al vano, hacia los laterales del recinto el nivel de intensidad disminuye. Con la profundidad de “h” (la primera mitad horizontal), se observan cuadrantes con variaciones de hasta tres rangos.

En la tipología B la mayor intensidad está concentrada en la primera línea horizontal, frente a la perforación, ocupando “1 ½ h” aproximadamente, ya que la distribución no se dispone paralela a toda la fachada. Con la profundidad de “h/2” (el primer cuarto),

se observan cuadrantes con variaciones de hasta tres rangos. El resto de cuadrantes presenta cambios de dos rangos como máximo.

En la tipología C el rango más alto es entre 4-7%, y no por encima de 7% como en A Y B. La distribución es marcadamente horizontal y en todos los casos se extiende en “2h”. La mayor intensidad se reparte en el primer cuadrante horizontal a lo largo de toda la fachada, ocupa un ancho aproximado de “h/4”. Todos los cuadrantes tienen como máximo dos variaciones de rango.

Respecto a la penetración de la luz, por encima de 1% de DF, en las tres las tipologías llegan hasta “1 ½ h”, siendo más profunda en el tipo A, seguida por el tipo B y finalmente el tipo C, más cercana a “1 h”.

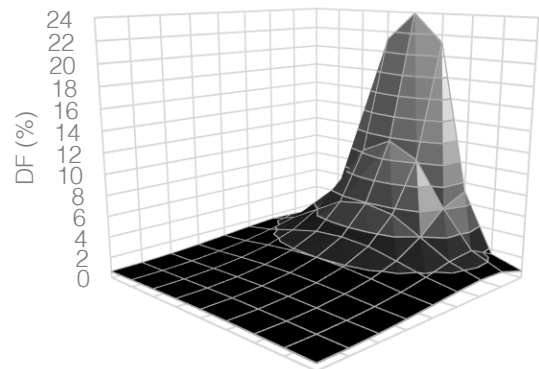
- **Comparación entre niveles:**

En los diferentes niveles se observa que con mayor SVF la penetración de la luz es mayor, al igual que el nivel de intensidad y las áreas por encima de 1% de DLF.

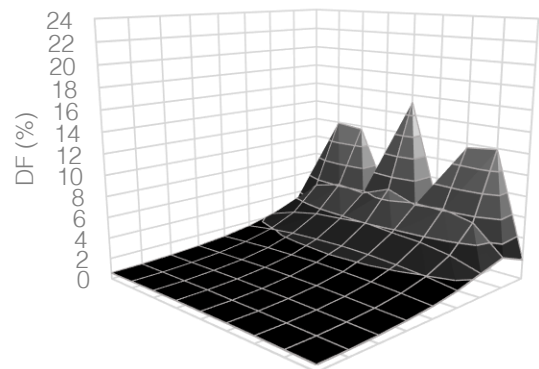
Por encima de 1% de DF, es mayor la penetración de iluminación en el tipo A, seguida por el tipo B y finalmente el tipo C. En el noveno nivel las tres las tipologías muestran una penetración de luz de “1 ½ h”. En el quinto nivel la penetración se da hasta “1 h”, y en el primer nivel hasta “h/2”.

La tipología A mantiene una repartición concentrada en la zona central y marcada variación de rangos de DF. En todos los niveles presenta una variación entre los cinco rangos analizados, pero repartidos de manera diferente.

Nivel 9 - Tipo A



Nivel 9 - Tipo B



Nivel 9 - Tipo C

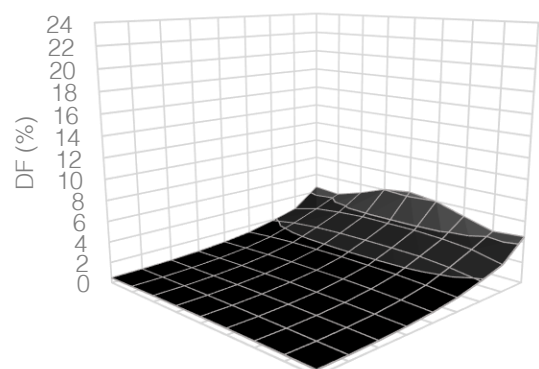


Figura 92. Comparación de distribución de la luz en el noveno nivel. Fuente: Elaboración propia.

La tipología B tiene una repartición más extendida que la A, paralela a la fachada. A medida que el SVF disminuye hace que las zonas agrupadas no se extiendan hasta los laterales del recinto. En todos los niveles presenta una variación entre los cinco rangos analizados, pero repartidos de manera diferente.

La tipología C tiene una repartición más extendida que la B, a medida que el SVF disminuye también lo hace el porcentaje de DLF en las zonas laterales del recinto. En el noveno y quinto nivel presenta variación entre los cuatro rangos de menor intensidad, y en el primero varía entre los dos rangos con menor intensidad.

5.6. FACTOR DE UNIFORMIDAD

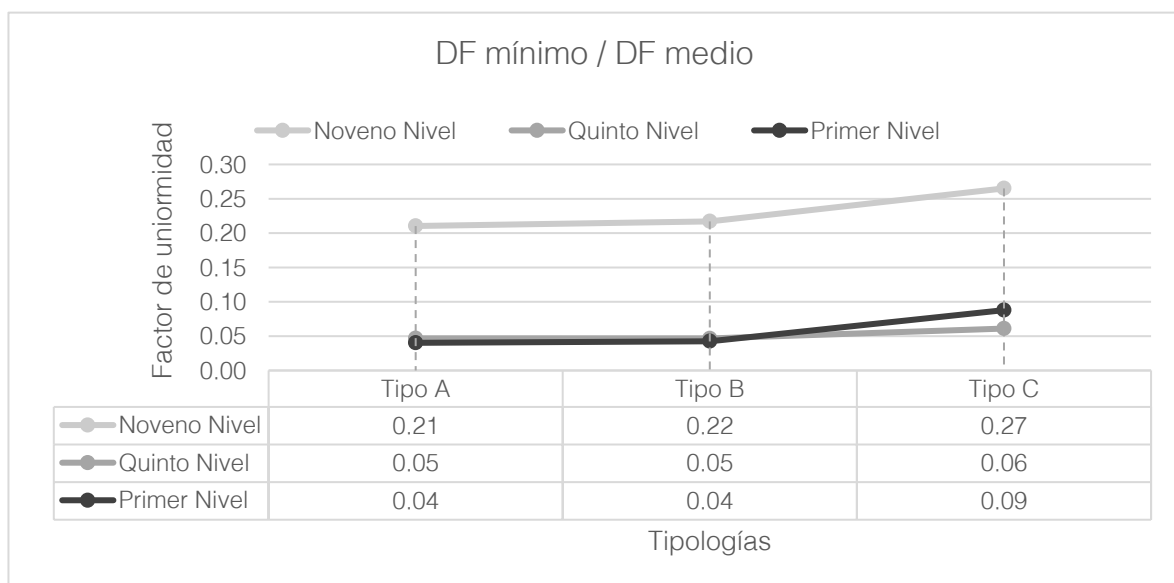


Figura 93. Factor de uniformidad según tipología y nivel. Fuente: Elaboración propia.

Según el análisis realizado la tipología con mayor factor de uniformidad (DF_{min}/DF_{med}) es la tipología C. Esto sucede en todos los casos, seguida por la B y finalmente la A. Como referencia, el tipo C con factor de 0.3, estaría en el rango admitido por el BREEAM.

Según este indicador, que prioriza asegurar un nivel mínimo, el noveno nivel es más homogéneo que el quinto y primero. El quinto es más homogéneo que el primero en la tipología A y B, pero no en la C. Esto puede suceder ya que los niveles mínimos son muy similares, pero el nivel más alto de DF es mayor en el tipo B, por lo que la media se incrementa.

Además, se ha analizado la relación entre la media y la máxima. Para el caso de estudio, permite evidenciar la diferencia entre los puntos más altos.

Los niveles medios y máximos son más próximos en el nivel 1, seguido por el 5 y finalmente el 9. Respecto a las tipologías, estos valores son más próximos en el tipo C, seguido por el B y luego el A.

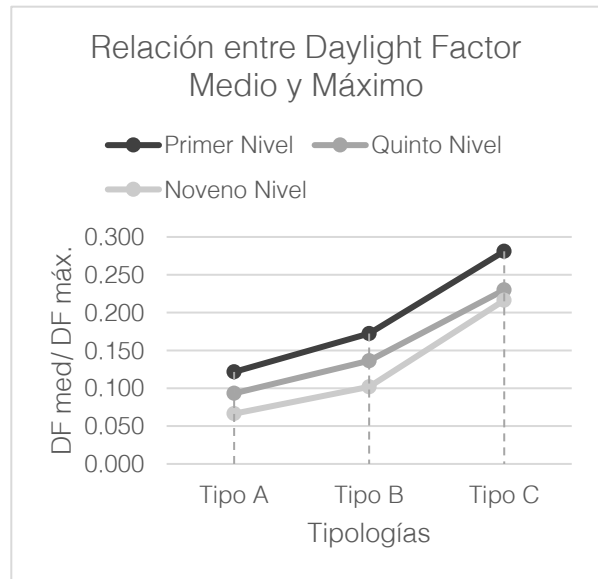


Figura 94. Relación entre DF medio y máximo según tipología y nivel. Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

En latitudes con cielo cubierto y luz principalmente difusa. O para vanos orientados a sur en el hemisferio sur; y orientados a norte en el hemisferio norte:

- Con la misma superficie de paso fragmentada en más perforaciones, la repartición de la luz al interior es más homogénea pero menos profunda. Por ello la tipología reticular sería recomendable en lugares geoméricamente poco profundos o de paso, donde la luz llega lateralmente.
- Los valores mínimos alcanzados por las tipologías son similares, mientras que la mayor diferencia se da en los valores máximos de DF, que se registran en la primera mitad del recinto. Por ello no solo es importante considerar el nivel de iluminancia, sino que debe estudiarse la forma de repartición de luz en el espacio.
- Es posible alcanzar el mismo DF, pero con distribuciones de luz muy diferentes. Por lo tanto, en el proceso de diseño se debe contemplar una correcta distribución de la luz y no solo priorizar alcanzar estándares cuantitativos mínimos.
- El factor de uniformidad pretende asegurar un nivel mínimo DF, pero no es prioritario controlar el nivel máximo. Deben valorarse ambos criterios con relación a la media.

LÍNEAS ABIERTAS DE INVESTIGACIÓN

- Contrastar simulaciones con mediciones en modelos a escala.
- Complementar el estudio con rangos de deslumbramiento según las luminancias generadas.
- Incluir como variable independiente la proporción del cañón urbano para analizar su repercusión en la influencia de las reflexiones exteriores sobre el reparto de la luz al interior.
- Incluir como variable independiente el coeficiente de reflexión interior del recinto para analizar su repercusión sobre el reparto de la luz.
- Comparar el estudio con recintos de otra proporción para conocer la repercusión de la geometría del espacio y las reflexiones internas sobre el reparto de la luz.

BIBLIOGRAFÍA

- Andersen, A. (2014). Daylight, Energy and Indoor Climate Basic Book. En VELUX Knowledge Centre for Daylight & Energy and Indoor Climate(DEIC) (Eds.), *VELUX.com* (3.ª ed.).
- Arnheim, R. (1982). *El Poder del centro: Estudio sobre la composición en las artes visuales*. Alianza.
- Baker, N., Fanchiotti, A., & Steemers, K. (1993). *Daylighting in architecture: A european reference book*. Commission of the European Communities, Directorate-General XII for Scienc Research and Development.
- Baker, N., & Steemers, K. (2002). *Daylight Design of Buildings*. James & James.
- Boyce, P. R. (1996). Illuminance selection based on visual performance—and other fairy stories. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 25(2), 41-49. <https://doi.org/10.1080/00994480.1996.10748146>
- BREEAM. (2014). *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*. Visual Comfort. shorturl.at/BEIK7
- Britannica, T. E. of E. (2018). Ancient lights. En *Encyclopaedia Britannica*. Encyclopædia Britannica, inc. <https://doi.org/10.1093/nq/CLVII.sep07.173-a>
- Ching, F. (2006). *Arquitectura: forma, espacio y orden; [versión castellana de Santiago Castán]*. Gustavo Gili.
- Choi, J. H., Beltran, L. O., & Kim, H. S. (2012). Impacts of indoor daylight environments on patient average length of stay (ALOS) in a healthcare facility. *Building and Environment*, 50, 65-75. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.10.010>
- Comité Español de Iluminación (CEI), Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), & Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España (CSCAE). (2005). *Guía técnica para el aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios*. IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.
- Internationale de IEclairage Comission. (1994). Standard CIE 110-1994 Spatial Distribution of Daylight-Luminance Distributions of Various Reference Skies.
- EIA, E. I. A. (2006). *Annual Energy Review 2005*. <http://www.eia.doe.gov>. <http://www.eia.doe.gov/aer>.
- European Committee for Standarization. (2018). *European Standard EN 17037 Daylight*

in Building. CEN.

- Feijó Muñoz, J. (1994). *Instalaciones de iluminación en la arquitectura*. Universidad, Secretariado de Publicaciones.
- Hopkinson, R. G. (1969). *The Lighting of Buildings*. Faber and Faber., [https://discovery.upc.edu/iii/encore/record/C__Rb1056812__Sthe lighting of buildings__Orightrresult__U__X7;jsessionid=55C87F53D6529679FAE548A564B90E56?lang=cat](https://discovery.upc.edu/iii/encore/record/C__Rb1056812__Sthe%20lighting%20of%20buildings__Orightrresult__U__X7;jsessionid=55C87F53D6529679FAE548A564B90E56?lang=cat)
- Kahn, L. (1971). The room, the street and human agreement. *AIA Journal*, 56(3), 33-34. <https://usmodernist.org/AJ/AJ-1971-09.pdf>
- Lee, J., Boubekri, M., & Liang, F. (2019). Impact of Building Design Parameters on Daylighting Metrics Using an Analysis, Prediction, and Optimization Approach Based on Statistical Learning Technique. *Sustainability*, 11(5), 1474. <https://doi.org/10.3390/su11051474>
- Li, D. H. W., Wong, S. L., Tsang, C. L., & Cheung, G. H. W. (2006). A study of the daylighting performance and energy use in heavily obstructed residential buildings via computer simulation techniques. *Energy and Buildings*. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.04.001>
- Lopez Besora, J. (2010). *Transiciones lumínicas. Percepción lumínica y visual en los espacios arquitectónicos de transición entre interior y exterior: vestíbulos*. [Universidad Politécnica de Cataluña]. https://www.aie.webs.upc.edu/maema/wp-content/uploads/2016/07/13-Judit-Lopez-Besora-Transiciones-luminicas_COMPLETO.pdf
- Lou, S., Li, D. H. W., & Chen, W. (2019). *Identifying overcast, partly cloudy and clear skies by illuminance fluctuations*. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.01.080>
- Murguía Sánchez, L. (2003). La Luz en la Arquitectura: Su influencia sobre la salud de las personas. Estudio sobre la variabilidad del alumbrado artificial en oficinas. En *TDX (Tesis Doctorals en Xarxa)*. Universitat Politècnica de Catalunya. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/93420#XxxBnoe7HX8.mendeley>
- Partonen, T., & Lonqvist, J. (2000). Bright light improves vitality and alleviates distress in healthy people. En *Journal of Affective Disorders* (Vol. 57). www.elsevier.com/locate/jad
- Patel, N., Vo, K., & Hernandez, M. (2020). *Electromagnetic Radiation - Chemistry*

LibreTexts. shorturl.at/vFJV5

- Pechacek, C. S., Andersen, M., & Lockley, S. W. (2008). Preliminary Method for Prospective Analysis of the Circadian Efficacy of (Day)Light with Applications to Healthcare Architecture. *LEUKOS - Journal of Illuminating Engineering Society of North America*, 5(1), 1-26. <https://doi.org/10.1080/15502724.2008.10747625>
- Pollio, M. V. (1987). *Los Diez Libros de Arquitectura*. Editorial Alta Fulla.
- Real Academia Española. (2014). *confort* / Definición / Diccionario de la lengua española / RAE - ASALE. <https://dle.rae.es/confort?m=form>
- Reinhart, C. (2012). *Daylighting*. Massachusetts Institute of Technology: MIT OpenCourseWare, <https://ocw.mit.edu>.
- Serra, R., & Coch, H. (1995). *Arquitectura y energía natural*. Edicions UPC.
- Tanizaki, J. (1994). El elogio de la sombra. En *El elogio de la sombra* (Vol. 00001). Ediciones Siruela. shorturl.at/gxyL4
- Tregenza, P., & Wilson, M. (2011). *Daylighting: Architecture and Lighting Design*. Routledge.
- Vaisi, S., & Kharvari, F. (2019). *Evaluation of Daylight regulations in buildings using daylight factor analysis method by radiance*. shorturl.at/jvxN3
- Yáñez, G. (2008). *Arquitectura solar e iluminación natural: Conceptos, métodos y ejemplos*. Munilla-Lería.

REFERENCIAS DE FOTOGRAFÍAS:

- Armstrong,A. (2009).Church of Saint-Pierre. [Fotografía]. Recuperado de <https://flic.kr/p/6E6pya>
- Bridgeman Images (s.f.). The Morning Room. [Fotografía]. Recuperado de shorturl.at/bcyGV
- Carrascosa, M.(2006). Museo de las colecciones reales. [Fotografía]. Recuperado de <https://flic.kr/p/QNxNnP>
- Català-Roca,F.(s.f). Instituto Francés .[Fotografía].Recuperado de shorturl.at/abel9
- Edward (2016).Museo Judío Contemporáneo. [Fotografía]. Recuperado de <https://flic.kr/p/4U24NL>
- Fouillet,F. (2018).Vals Thermal Baths. [Fotografía]. Recuperado de shorturl.at/yEOXZ
- Godel, A.(2012). Lakeuden Risti Church. [Fotografía]. Recuperado de <https://flic.kr/p/diBa3p>
- Groener,T. (2014). Centre for health interior. [Fotografía]. Recuperado de shorturl.at/FGNO7
- Hiromatsu, M. (2012). Cube Tube. [Fotografía]. Recuperado de shorturl.at/adiXY
- Hosain, A (2012). Ayub Hospital. [Fotografía]. Recuperado de shorturl.at/Daikm
- Hyde, R. (2003). Le Corbuser- Notre Dame du Haut, Ronchamp. [Fotografía]. Recuperado de <https://flic.kr/p/4P5t7W>
- Les Pedres de Barcelona (2016). La Ricarda. [Fotografía]. Recuperado de <https://flic.kr/p/UnA9J7>
- Lotte,M. (2019).Santa Maria Novella. [Fotografía]. Recuperado de <https://flic.kr/p/2ew5gSu>
- Mckenzie,T. (2008). Villa Savoye. [Fotografía]. Recuperado de <https://flic.kr/p/4KwEdw>
- Morgado,J.(2018).Capela do Monte. [Fotografía]. Recuperado de <https://www.joaomorgado.com/>
- National Gallery of Ireland. (2016). Lady Writing a Letter, with her Maid. [Fotografía]. Recuperado de shorturl.at/rvCGM
- Palma, C. (2009). Edward's University New Residence. [Fotografía]. Recuperado de shorturl.at/rQZ39
- Palma, C. (2016). Aulario Universidad de Piura. [Fotografía]. Recuperado de shorturl.at/koFM7
- Recati,M.(2016).Barcelona Pavillion. [Fotografía]. Recuperado de <https://flic.kr/p/2iStU81>
- Rihan, M. (2009). Villa Ponti. [Fotografía]. Recuperado de <https://flic.kr/p/7dPdrs>

- Said,A. (2018). Biblioteca de Estocolmo. [Fotografía]. Recuperado de <https://flic.kr/p/29h38at>
- Schroeer-Heiermann, C. (2017). Koshino House. [Fotografía]. Recuperado de <https://flic.kr/p/ZS1eVd>
- Searle, D. (2009). Taj Mahal. [Fotografía]. Recuperado de <https://flic.kr/p/6Rz45d>
- Smith, C. (2017). Casa Gilardi. [Fotografía]. Recuperado de <https://flic.kr/p/TiUDhT>
- Toscani,M.(2014).Hotel Unique. [Fotografía]. Recuperado de shorturl.at/kuzBH
- Victoria and Albert Museum.(2020).A room in the house of Shayk Sadat, Cairo. [Fotografía]. Recuperado de shorturl.at/euvJK
- Vinci,R. (2017).Müller house. [Fotografía]. Recuperado de shorturl.at/KNV49
- Yale University Press.(2013). Sesc Pompeia[Fotografía].Recuperado de shorturl.at/mvOU7

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ESPECTRO DE RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA Y ESPECTRO VISIBLE DE LA LUZ. FUENTE: (PATEL ET AL., 2020)	8
FIGURA 2. SECCIÓN HORIZONTAL DEL OJO HUMANO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A (BAKER ET AL., 1993)	9
FIGURA 3. DISPERSIÓN DE LA LUZ SOLAR A TRAVÉS DE LA ATMÓSFERA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A (BAKER & STEEMERS, 2002).....	11
FIGURA 4. DIFERENCIA DEL ESPECTRO DE LA ILUMINACIÓN NATURAL VS UNA LÁMPARA LED. FUENTE:(ANDERSEN, 2014).....	12
FIGURA 5. TIPOS DE REFLEXIÓN LUMINOSA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A (FEIJÓ MUÑOZ, 1994).....	14
FIGURA 6. TIPOS DE TRANSMISIÓN LUMINOSA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A (FEIJÓ MUÑOZ, 1994)	14
FIGURA 7. ÁNGULO VISIBLE DEL CIELO θ . FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A (YÁÑEZ, 2008)	17
FIGURA 8. ILUMINACIÓN NATURAL EN ARQUITECTURA ESCALONADA. HAGIA SOPHIA, ESTAMBUL. FUENTE: (PROPIA,2018).....	19
FIGURA 9. LETREROS DE "ANCIENT LIGHTS" DEBAJO DE LAS VENTANAS DE UN EDIFICIO EN LONDRES. FUENTE: (BRITANNICA, 2018).....	19
FIGURA 10. COMPONENTES DE LA LUZ NATURAL QUE AFECTAN EL ESPACIO INTERIOR. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A (BAKER & STEEMERS, 2002)	20
FIGURA 11. ESQUEMA DE LOS APORTES DE LOS TRES COMPONENTES DE LA LUZ NATURAL PARA UNA HABITACIÓN CON OBSTRUCCIÓN EXTERNA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A (BAKER & STEEMERS, 2002)	20
FIGURA 12. COMPONENTES DE PASO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A (BAKER ET AL., 1993)	22
FIGURA 13. DIBUJOS DE LE CORBUSIER CON SUPOSICIONES ERRÓNEAS SOBRE LA FORMA DE DISTRIBUCIÓN DE LA LUZ NATURAL SEGÚN LA DISPOSICIÓN DE LOS VANOS.FUENTE: (YÁÑEZ, 2008).....	24
FIGURA 14. SIMULACIÓN QUE DEMUESTRA CÓMO SERÍA LA REPARTICIÓN DE LA LUZ REALMENTE EN LOS ESQUEMAS DE LE CORBUSIER. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A DIALUX.....	24
FIGURA 15. REGLA DE ILUMINACIÓN QUE PERMITE CALCULAR EL MÁXIMO DE PROFUNDIDAD QUE ALCANZA LA LUZ NATURAL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A (TREGENZA & WILSON, 2011).....	24
FIGURA 16. SANTA MARÍA NOVELLA.FUENTE:(LOTTE, 2019).....	27
FIGURA 17. LADY WRITING A LETTER WITH HER MAID.FUENTE: (NGI, 2016).....	27
FIGURA 18. PABELLÓN BARCELONA. FUENTE: (RECATI, 2019)	27
FIGURA 19. MÜLLER HOUSE. FUENTE: (VINCI, 2017).....	27
FIGURA 20. VILLA SAVOYE.FUENTE:(MCKENZIE,2008).....	27
FIGURA 21. SESC POMPEIA.FUENTE: (YALE UNIVERSITY PRESS, 2013).....	27
FIGURA 22. VILLA PONTY.FUENTE: (RIHAN, 2009)	28
FIGURA 23. VALS THERMAL BATHS.FUENTE: (FOUILLET, 2016)	28
FIGURA 24. HOTEL UNIQUE.FUENTE: (TOSCANI, 2014).....	28
FIGURA 25. CAPELA DO MONTE.FUENTE: (MORGADO,2018)	28
FIGURA 26. BIBLIOTECA DE CATALUÑA. FUENTE: (PROPIA, 2019)	29
FIGURA 27. THE MORNING ROOM. FUENTE: (BRIDGEMAN IMAGES, 2019)	29

FIGURA 28. BIBLIOTECA PÚBLICA DE ESTOCOLMO.FUENTE: (SAID, 2018)	29
FIGURA 29. LAKEUDEN RISTI CHURCH.FUENTE: (GODEL, 2012)	29
FIGURA 30. HOSPITAL AYUB.FUENTE: (HOSAIN, 2012)	29
FIGURA 31. INSTITUTO FRANCÉS DE BARCELONA.FUENTE: (CATALÀ-ROCA,S.F.).....	29
FIGURA 32. CASA GILARDI. FUENTE: (SMITH, 2017)	30
FIGURA 33. KOSHINO HOUSE. FUENTE: (SCHROEER-HEIERMANN, 2017).....	30
FIGURA 34. EDWARD’S UNIVERSITY NEW RESIDENCE.FUENTE: (PALMA,2009)	30
FIGURA 35. MUSEO DE LAS COLECCIONES REALES.FUENTE: (CARRASCOSA, 2015)	30
FIGURA 36. TAJ MAHAL.FUENTE: (SEARLE, 2009)	31
FIGURA 37. A ROOM IN THE HOUSE OF SHAYK.FUENTE: (V&A MUSEUM, 2009).....	31
FIGURA 38. CASA VICENS.FUENTE: (PROPIA, 2020).....	31
FIGURA 39. CAPILLA NOTRE DAME DU HAUT.FUENTE: (HIDE, 2003)	31
FIGURA 40. CHURCH OF SAINT-PIERRE.FUENTE: (ARMSTRONG, 2009).....	31
FIGURA 41. CASA LA RICARDA.FUENTE: (LES PEDRES DE BARCELONA, 2016)	31
FIGURA 42. MUSEO JUDÍO CONTEMPORÁNEO.FUENTE: (EDWARS, 2016)	32
FIGURA 43. CUBE TUBE.FUENTE: (HIROMATSU,2012)	32
FIGURA 44. CENTRE FOR HEALTH AND SOCIAL ADVANCEMENT. FUENTE: (GROENER,2014).....	32
FIGURA 45. AULARIO UNIVERSIDAD DE PIURA. FUENTE: (PALMA,2016)	32
FIGURA 46.MAPA CONCEPTUAL DE LAS VARIABLES SELECCIONADAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	34
FIGURA 47. ESQUEMA DE CAÑÓN URBANO, ÁNGULOS DE SVF Y DATOS DE LA CIUDAD DE BARCELONA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	35
FIGURA 48. SÍNTESIS DE LA MORFOLOGÍA DEL RECINTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	35
FIGURA 49. VARIABLES DE LOS COMPONENTES DE PASO SELECCIONADAS PARA EL ANÁLISIS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A (BAKER ET AL., 1993)	36
FIGURA 50. DESCRIPCIÓN DE LA TIPOLOGÍA SINGULAR EN EL RECINTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	37
FIGURA 51. DESCRIPCIÓN DE LA TIPOLOGÍA RÍTMICA EN EL RECINTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	38
FIGURA 52. DESCRIPCIÓN DE LA TIPOLOGÍA RETICULAR EN EL RECINTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	39
FIGURA 53. PLANTA Y CORTE DEL RECINTO CON LA TRAMA DE MEDICIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	42
FIGURA 54. RANGOS DE DF Y PERCEPCIÓN DE LUMINOSIDAD. FUENTE: (ANDERSEN, 2014).....	42
FIGURA 55. SIMULACIÓN DE DF: PLANTA DE COLORES FALSOS. NOVENO NIVEL CON UN VANO TIPO A. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, PROGRAMA DIALUX.	43
FIGURA 56. CORTE LUMÍNICO. HACIA LA IZQUIERDA LA PERFORACIÓN. NOVENO NIVEL CON VANO TIPO A. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	44
FIGURA 57. ESQUEMA DE PLANTA: AGRUPACIÓN DE ÁREAS SEGÚN RANGO DE DF. NOVENO NIVEL CON UN VANO TIPO A. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, EN BASE A PROGRAMA DIALUX.	44
FIGURA 58. SIMULACIÓN DE DF: PLANTA DE COLORES FALSOS. NOVENO NIVEL CON UN VANO TIPO B. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, PROGRAMA DIALUX.	45
FIGURA 59. CORTE LUMÍNICO. HACIA LA IZQUIERDA LA PERFORACIÓN. NOVENO NIVEL CON VANO TIPO B. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	46
FIGURA 60. ESQUEMA DE PLANTA: AGRUPACIÓN DE ÁREAS SEGÚN RANGO DE DF. NOVENO NIVEL CON UN VANO TIPO B. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, EN BASE A PROGRAMA DIALUX.	46

FIGURA 61. SIMULACIÓN DE DF: PLANTA DE COLORES FALSOS. NOVENO NIVEL CON UN VANO TIPO C. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, PROGRAMA DIALUX.	47
FIGURA 62. CORTE LUMÍNICO. HACIA LA IZQUIERDA LA PERFORACIÓN. NOVENO NIVEL CON VANO TIPO C. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	48
FIGURA 63. ESQUEMA DE PLANTA: AGRUPACIÓN DE ÁREAS SEGÚN RANGO DE DF. NOVENO NIVEL CON UN VANO TIPO C. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, EN BASE A DIALUX.	48
FIGURA 64. SIMULACIÓN DE DF: PLANTA DE COLORES FALSOS. QUINTO NIVEL CON UN VANO TIPO A. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, PROGRAMA DIALUX.	49
FIGURA 65. CORTE LUMÍNICO. HACIA LA IZQUIERDA LA PERFORACIÓN. QUINTO NIVEL CON VANO TIPO A. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	50
FIGURA 66. ESQUEMA DE PLANTA: AGRUPACIÓN DE ÁREAS SEGÚN RANGO DE DF. QUINTO NIVEL CON UN VANO TIPO A. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, PROGRAMA DIALUX.	50
FIGURA 67. SIMULACIÓN DE DF: PLANTA DE COLORES FALSOS. QUINTO NIVEL CON VANOS TIPO B. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, PROGRAMA DIALUX.	51
FIGURA 68. CORTE LUMÍNICO. HACIA LA IZQUIERDA LA PERFORACIÓN. QUINTO NIVEL CON VANO TIPO B. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	52
FIGURA 69. ESQUEMA DE PLANTA: AGRUPACIÓN DE ÁREAS SEGÚN RANGO DE DF. QUINTO NIVEL CON VANOS TIPO B. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, PROGRAMA DIALUX.	52
FIGURA 70. SIMULACIÓN DE DF: PLANTA DE COLORES FALSOS. QUINTO NIVEL CON UN VANO TIPO C. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, PROGRAMA DIALUX.	53
FIGURA 71. CORTE LUMÍNICO. HACIA LA IZQUIERDA LA PERFORACIÓN. QUINTO NIVEL CON VANO TIPO C. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	54
FIGURA 72. FIG. X: RANGOS DE DF AGRUPADOS POR ÁREAS EN EL RECINTO. QUINTO NIVEL CON UN VANO TIPO C. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, EN BASE A DIALUX.	54
FIGURA 73. SIMULACIÓN DE DF: PLANTA DE COLORES FALSOS. PRIMER NIVEL CON UN VANO TIPO A. (ELABORACIÓN PROPIA, PROGRAMA DIALUX).	55
FIGURA 74. CORTE LUMÍNICO. HACIA LA IZQUIERDA LA PERFORACIÓN. PRIMER NIVEL CON VANO TIPO A. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	56
FIGURA 75. ESQUEMA DE PLANTA: AGRUPACIÓN DE ÁREAS SEGÚN RANGO DE DF. PRIMER NIVEL CON UN VANO TIPO A. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, EN BASE A PROGRAMA DIALUX.	56
FIGURA 76. SIMULACIÓN DE DF: PLANTA DE COLORES FALSOS. PRIMER NIVEL CON VANOS TIPO B. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, PROGRAMA DIALUX.	57
FIGURA 77. CORTE LUMÍNICO. HACIA LA IZQUIERDA LA PERFORACIÓN. PRIMER NIVEL CON VANO TIPO B. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	58
FIGURA 78. ESQUEMA DE PLANTA: AGRUPACIÓN DE ÁREAS SEGÚN RANGO DE DF. PRIMER NIVEL CON VANOS TIPO B. (ELABORACIÓN PROPIA, PROGRAMA DIALUX).	58
FIGURA 79. SIMULACIÓN DE DF: PLANTA DE COLORES FALSOS (%). PRIMER NIVEL CON UN VANO TIPO C. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, PROGRAMA DIALUX.	59
FIGURA 80. CORTE LUMÍNICO. HACIA LA IZQUIERDA LA PERFORACIÓN. PRIMER NIVEL CON VANO TIPO C. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	60
FIGURA 81. RANGOS DE DF AGRUPADOS POR ÁREAS EN EL RECINTO. PRIMER NIVEL CON UN VANO TIPO C. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, EN BASE A DIALUX.	60
FIGURA 82. COMPARACIÓN ENTRE MÍNIMOS Y MÁXIMO DE DF SEGÚN TIPOLOGÍA DE PERFORACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	61
FIGURA 83. COMPARACIÓN DE TENDENCIA DE DF MÁXIMO POR TIPOLOGÍA CON DIFERENTE SVF. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	62

FIGURA 84. COMPARACIÓN ENTRE LA MEDIANA Y EL DF MEDIO SEGÚN TIPOLOGÍAS DE PERFORACIÓN, (ELABORACIÓN PROPIA).62

FIGURA 85. ÁREAS OCUPADAS SEGÚN RANGO DE DF. COMPARACIÓN POR TIPOLOGÍAS Y NIVELES.64

FIGURA 86. COMPARACIÓN DE CURVA DE ILUMINACIÓN ENTRE TIPOLOGÍAS. NOVENO NIVEL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.65

FIGURA 87. COMPARACIÓN DE CURVA DE ILUMINACIÓN CON DIFERENTES TIPOLOGÍAS Y NIVELES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.65

FIGURA 88. COMPARACIÓN DE LA TIPOLOGÍA A EN DISTINTOS NIVELES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.66

FIGURA 89. COMPARACIÓN DE LA TIPOLOGÍA B EN DISTINTOS NIVELES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.67

FIGURA 90. COMPARACIÓN DE LA TIPOLOGÍA C EN DISTINTOS NIVELES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.67

FIGURA 91. COMPARATIVO DE DISTRIBUCIÓN DE ILUMINACIÓN NATURAL. GRILLA DE 1,25 x 1,25M .DF DE TRES TIPOLOGÍAS EN TRES NIVELES DE ALTURA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A DIALUX.68

FIGURA 92. COMPARACIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE LA LUZ EN EL NOVENO NIVEL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.69

FIGURA 93. FACTOR DE UNIFORMIDAD SEGÚN TIPOLOGÍA Y NIVEL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.70

FIGURA 94. RELACIÓN ENTRE DF MEDIO Y MÁXIMO SEGÚN TIPOLOGÍA Y NIVEL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.71

ÍNDICE DE TABLAS

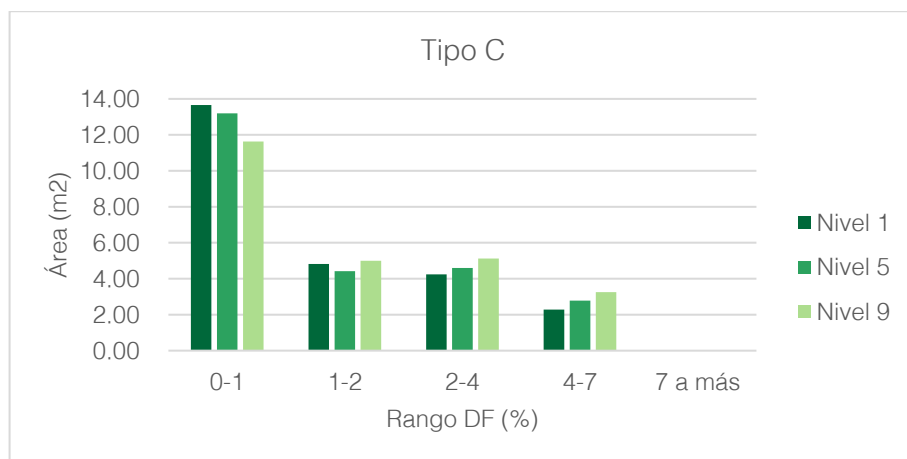
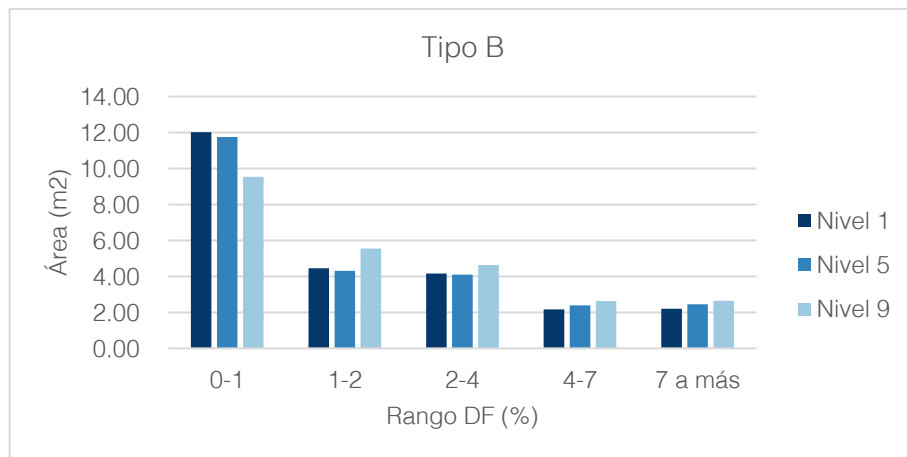
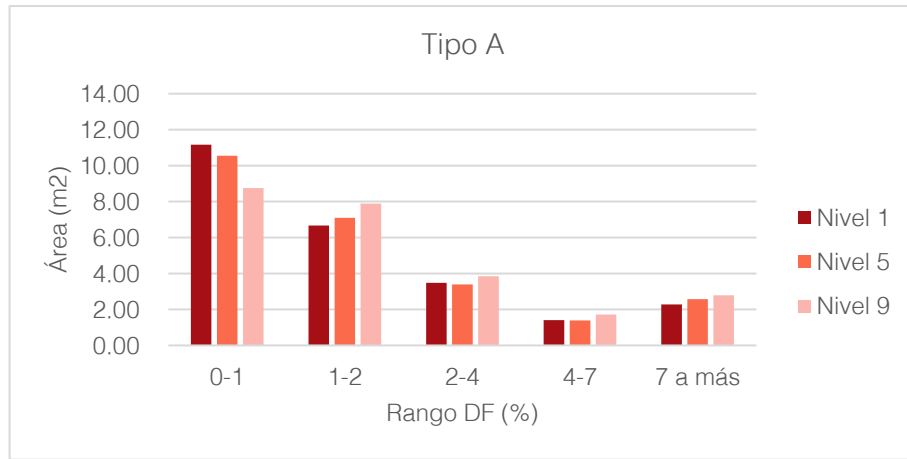
TABLA 1. ILUMINANCIA RECOMENDADA PARA LEER POR EL IESNA A TRAVÉS DE LOS AÑOS. FUENTE: (BOYCE, 1996)	16
TABLA 2.ILUMINANCIA REQUERIDA PARA LEER POR USUARIOS DE DISTINTAS EDADES. FUENTE: (BOYCE, 1996)	16
TABLA 3. NIVEL DE ILUMINACIÓN RECOMENDADO SEGÚN EL ESFUERZO VISUAL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARIZATION, 2018)	16
TABLA 4. VALORES DE DF PARA ALCANZAR UNA ILUMINANCIA INTERIOR DE 300LX. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A SIMULACIÓN EN DIALUX.	18
TABLA 5. CLASIFICACIÓN DE TIPOLOGÍAS DE PERFORACIONES EN PLANOS VERTICALES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	26
TABLA 6. CARACTERÍSTICAS DE LAS SUPERFICIES UTILIZADAS EN LA SIMULACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	41
TABLA 7. CARACTERÍSTICAS DE LA ESCENA DE LUZ UTILIZADA EN LA SIMULACIÓN.	41
TABLA 8. COMPARACIÓN DE VALORES DE DF MEDIO SEGÚN NIVEL DE ANÁLISIS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	63
TABLA 9. COMPARACIÓN DE VALORES DE DF MEDIO SEGÚN TIPOLOGÍA Y VARIACIÓN DE NIVEL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	63

ANEXOS

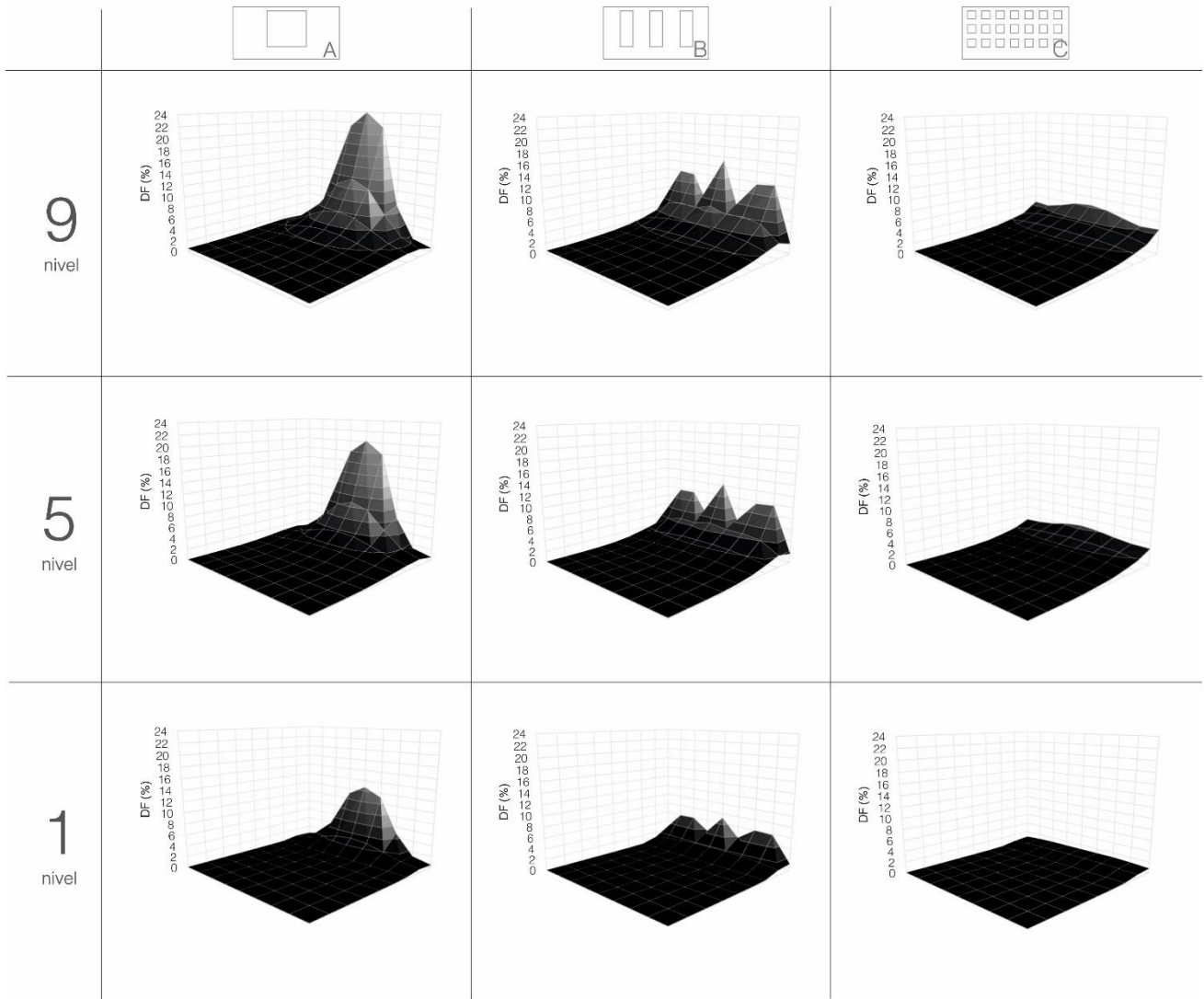
ANEXO 1: Síntesis de valores de *Daylight Factory* factor de uniformidad. Fuente: Elaboración propia

		Noveno Nivel			Quinto Nivel			Primer Nivel		
		Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo A	Tipo B	Tipo C
DF (%)	Medio	2.91	2.63	1.78	1.88	1.67	1.02	0.84	0.73	0.25
	Mediana	1.34	1.46	1.15	0.50	0.46	0.47	0.08	0.07	0.05
	Mínimo	0.61	0.57	0.47	0.09	0.08	0.06	0.03	0.03	0.02
	Máximo	23.92	15.27	6.35	20.17	12.27	4.42	12.71	7.14	1.16
Factor de Uniformidad	DF mínimo / DF medio	0.21	0.22	0.27	0.05	0.05	0.06	0.04	0.04	0.09

ANEXO 2: Agrupación de áreas (m²) por rango según tipología analizada. Fuente: Elaboración propia.



ANEXO 3: Distribución de la luz: *Daylight Factor* según puntos de medición. Fuente: Elaboración propia en base a datos de DIALux.



ANEXO 4: Valores de DF en los puntos de medición. Fuente: Elaboración propia en base a datos de DIALux.

1. PRIMER NIVEL

1.1 TIPOLOGÍA A

Tabla de valores DF %									
Distancia (m)	0.30	0.85	1.40	1.95	2.50	3.05	3.60	4.15	4.70
0.30	0.413	0.592	0.193	0.084	0.070	0.055	0.046	0.040	0.034
0.85	1.137	1.060	0.213	0.092	0.075	0.062	0.052	0.044	0.038
1.40	4.822	1.965	0.212	0.098	0.080	0.067	0.055	0.047	0.041
1.95	11.149	2.788	0.210	0.100	0.080	0.069	0.057	0.048	0.045
2.50	12.710	3.081	0.190	0.106	0.087	0.073	0.059	0.050	0.042
3.05	11.047	2.772	0.192	0.096	0.083	0.069	0.056	0.047	0.044
3.60	4.739	1.931	0.174	0.095	0.078	0.065	0.054	0.046	0.042
4.15	1.117	1.013	0.167	0.088	0.072	0.063	0.051	0.044	0.037
4.70	0.409	0.561	0.137	0.081	0.067	0.054	0.048	0.038	0.034

1.2 TIPOLOGÍA B

Tabla de valores DF %									
Distancia (m)	0.30	0.85	1.40	1.95	2.50	3.05	3.60	4.15	4.70
0.30	1.196	0.959	0.170	0.084	0.065	0.053	0.043	0.036	0.034
0.85	5.818	1.434	0.181	0.090	0.069	0.056	0.049	0.039	0.034
1.40	5.982	1.727	0.200	0.089	0.075	0.061	0.050	0.042	0.036
1.95	3.774	1.808	0.177	0.097	0.075	0.062	0.050	0.047	0.038
2.50	7.141	1.869	0.200	0.092	0.077	0.065	0.052	0.045	0.039
3.05	3.715	1.839	0.181	0.091	0.077	0.066	0.052	0.047	0.037
3.60	5.902	1.686	0.167	0.092	0.072	0.058	0.049	0.042	0.036
4.15	5.828	1.467	0.156	0.089	0.072	0.058	0.047	0.039	0.035
4.70	1.209	0.898	0.144	0.084	0.061	0.048	0.043	0.035	0.031

1.3 TIPOLOGÍA C

Tabla de valores DF %									
Distancia (m)	0.30	0.85	1.40	1.95	2.50	3.05	3.60	4.15	4.70
0.30	0.814	0.620	0.153	0.060	0.046	0.038	0.031	0.027	0.022
0.85	1.031	0.784	0.166	0.066	0.050	0.043	0.033	0.027	0.025
1.40	1.158	0.879	0.175	0.064	0.055	0.043	0.036	0.029	0.026
1.95	1.136	0.928	0.183	0.066	0.054	0.045	0.037	0.030	0.026
2.50	1.133	0.935	0.161	0.072	0.055	0.045	0.037	0.030	0.026
3.05	1.110	0.933	0.166	0.068	0.055	0.043	0.036	0.030	0.026
3.60	1.124	0.853	0.161	0.064	0.056	0.045	0.033	0.029	0.024
4.15	1.029	0.764	0.149	0.062	0.047	0.041	0.032	0.027	0.023
4.70	0.813	0.596	0.125	0.056	0.044	0.037	0.029	0.026	0.023

2. QUINTO NIVEL

2.1 TIPOLOGÍA A

Tabla de valores DF %									
Distancia (m)	0.30	0.85	1.40	1.95	2.50	3.05	3.60	4.15	4.70
0.30	0.513	1.105	0.979	0.660	0.395	0.217	0.130	0.102	0.090
0.85	1.309	2.120	1.599	0.913	0.474	0.217	0.136	0.116	0.100
1.40	6.406	4.775	2.598	1.235	0.535	0.224	0.140	0.119	0.106
1.95	17.830	7.800	3.477	1.456	0.570	0.228	0.142	0.123	0.110
2.50	20.174	8.806	3.739	1.506	0.564	0.225	0.144	0.125	0.112
3.05	17.815	7.732	3.407	1.422	0.566	0.224	0.144	0.122	0.110
3.60	6.335	4.670	2.512	1.150	0.495	0.207	0.139	0.117	0.104
4.15	1.310	2.096	1.536	0.846	0.415	0.191	0.128	0.108	0.097
4.70	0.510	1.104	0.953	0.605	0.326	0.173	0.118	0.097	0.088

2.2 TIPOLOGÍA B

Tabla de valores DF %									
Distancia (m)	0.30	0.85	1.40	1.95	2.50	3.05	3.60	4.15	4.70
0.30	1.581	2.177	1.410	0.738	0.373	0.176	0.118	0.095	0.080
0.85	9.743	4.073	1.916	0.935	0.425	0.201	0.131	0.104	0.090
1.40	9.531	4.551	2.273	1.046	0.460	0.208	0.127	0.113	0.095
1.95	5.033	4.577	2.460	1.141	0.509	0.206	0.131	0.112	0.101
2.50	12.265	5.132	2.506	1.165	0.501	0.208	0.133	0.115	0.101
3.05	4.975	4.496	2.452	1.112	0.457	0.203	0.133	0.112	0.099
3.60	9.609	4.615	2.254	1.056	0.466	0.184	0.123	0.110	0.093
4.15	9.639	3.999	1.877	0.857	0.379	0.178	0.122	0.098	0.087
4.70	1.570	2.129	1.370	0.698	0.332	0.157	0.107	0.089	0.078

2.3 TIPOLOGÍA C

Tabla de valores DF %									
Distancia (m)	0.30	0.85	1.40	1.95	2.50	3.05	3.60	4.15	4.70
0.30	3.048	1.826	1.161	0.627	0.377	0.165	0.095	0.076	0.066
0.85	3.148	2.402	1.466	0.748	0.429	0.176	0.104	0.080	0.071
1.40	3.565	2.589	1.642	0.831	0.468	0.187	0.107	0.084	0.075
1.95	4.113	2.704	1.703	0.868	0.496	0.199	0.102	0.088	0.077
2.50	4.419	2.784	1.724	0.874	0.498	0.202	0.103	0.086	0.081
3.05	4.149	2.712	1.676	0.863	0.499	0.196	0.101	0.084	0.075
3.60	3.476	2.588	1.628	0.810	0.469	0.179	0.098	0.081	0.076
4.15	3.143	2.395	1.449	0.723	0.414	0.159	0.092	0.081	0.068
4.70	3.064	1.803	1.130	0.593	0.349	0.140	0.085	0.070	0.062

3. NOVENO NIVEL

3.1 TIPOLOGÍA A

Tabla de valores DF %									
Distancia (m)	0.30	0.85	1.40	1.95	2.50	3.05	3.60	4.15	4.70
0.30	0.659	1.435	1.557	1.372	1.147	0.923	0.757	0.651	0.621
0.85	1.496	2.671	2.405	1.806	1.337	1.017	0.810	0.700	0.674
1.40	7.138	6.084	3.968	2.484	1.654	1.174	0.899	0.751	0.719
1.95	21.266	10.299	5.473	3.083	1.912	1.291	0.965	0.794	0.758
2.50	23.923	11.687	5.929	3.253	1.995	1.352	0.998	0.817	0.774
3.05	21.229	10.272	5.465	3.061	1.899	1.294	0.962	0.791	0.752
3.60	7.088	6.022	3.924	2.452	1.638	1.166	0.898	0.742	0.714
4.15	1.489	2.640	2.376	1.781	1.316	1.009	0.801	0.694	0.667
4.70	0.653	1.430	1.540	1.354	1.127	0.907	0.748	0.644	0.612

3.2 TIPOLOGÍA B

Tabla de valores DF %									
Distancia (m)	0.30	0.85	1.40	1.95	2.50	3.05	3.60	4.15	4.70
0.30	1.868	2.889	2.240	1.573	1.147	0.889	0.709	0.611	0.582
0.85	11.892	5.474	3.118	1.972	1.332	0.967	0.759	0.643	0.616
1.40	11.590	6.117	3.584	2.213	1.471	1.048	0.802	0.677	0.656
1.95	5.642	5.861	3.775	2.377	1.548	1.114	0.849	0.712	0.684
2.50	15.265	6.839	4.024	2.427	1.606	1.123	0.847	0.702	0.676
3.05	5.563	5.807	3.782	2.344	1.532	1.110	0.849	0.714	0.681
3.60	11.645	6.120	3.586	2.219	1.460	1.034	0.803	0.673	0.656
4.15	11.919	5.460	3.062	1.933	1.310	0.954	0.752	0.635	0.618
4.70	1.833	2.857	2.214	1.550	1.127	0.874	0.703	0.600	0.571

3.3 TIPOLOGÍA C

Tabla de valores DF %									
Distancia (m)	0.30	0.85	1.40	1.95	2.50	3.05	3.60	4.15	4.70
0.30	4.505	2.606	1.906	1.309	0.959	0.729	0.591	0.513	0.494
0.85	4.306	3.266	2.334	1.527	1.086	0.793	0.632	0.539	0.526
1.40	5.103	3.542	2.584	1.666	1.178	0.853	0.669	0.572	0.555
1.95	5.977	3.684	2.639	1.712	1.232	0.880	0.695	0.590	0.573
2.50	6.350	3.682	2.654	1.733	1.225	0.914	0.703	0.595	0.576
3.05	6.024	3.688	2.639	1.697	1.218	0.879	0.687	0.588	0.565
3.60	5.041	3.512	2.540	1.653	1.154	0.848	0.662	0.565	0.552
4.15	4.265	3.228	2.310	1.509	1.060	0.781	0.623	0.528	0.515
4.70	4.507	2.573	1.872	1.283	0.948	0.711	0.576	0.500	0.473