



Cálculo de iluminación natural en edificaciones

Cálculo de Iluminación Natural en Edificaciones

Elaboración
Álvaro G. Ponce de León Saavedra
Arquitecto CAP 14845, MSc

Agradecimiento especial al
Dr. Arq. Martín Wieser Rey

Contenido

1. Iluminación diurna y conceptos relevantes	5
2. Estándar mínimo recomendable de Factor de Luz Diurna promedio	19
2.1 Factor de Luz Diurna como unidad de medición	20
2.2 Estableciendo el nivel de iluminancia interior según el uso del ambiente.....	21
2.3 Estableciendo el nivel de iluminancia exterior según la ubicación geográfica en Perú.....	22
2.4 Determinando un valor de Factor de Luz Diurna promedio según cada espacio	23
3. Análisis el comportamiento de luz natural por simulación.....	25
3.1 Variables que condicionan el Factor de Luz diurna	26
3.2 Resultados de simulación y análisis de desempeño lumínico diurno	32
3.3 Conclusiones	41
4. Información necesaria para calcular el Factor de Luz Diurna ...	43
4.1 Factor de Reflectancia de los acabados.....	44
4.2 Factor de Transmisión Luminosa de los vidrios en vanos.....	44
4.3 Tamaño de abertura: Superficie de área traslúcida de la ventana	45
4.4 Los volúmenes en el entorno externo: Ángulo de luz visible al exterior.....	45
4.5 Tipo de uso del espacio interior	47
4.6 Proporción de dimensiones laterales.....	47
4.7 Estándar mínimo recomendable de Factor de Luz Diurna	47
5. Procedimiento de cálculo del Factor de Luz Diurna.....	49
5.1 Procedimiento de cálculo.....	50
5.2 Consideraciones de evaluación.....	51
6. Anexión del procedimiento de cálculo al Código Técnico de Construcción Sostenible	53
7. Ejemplos de cálculo desarrollado.....	57
7.1 Caso 1.....	58
7.2 Caso 2.....	73
8. Procedimiento para verificar el cumplimiento por los revisores de proyectos.....	87
Bibliografía.....	91

1. Iluminación diurna y conceptos relevantes

Toda edificación precisa de un determinado consumo eléctrico a fin de mantener sus actividades en la etapa de operación. Parte importante de esta electricidad consumida está destinada a la iluminación interior, incluso en horas de día, dependiendo además del tipo de uso del espacio interior o, a fin de suplir deficiencias por escaso ingreso de luz solar desde el exterior.

Precisamente, optimizar el uso de luz diurna en espacios interiores contribuirá a reducir significativamente el consumo energético diario de luz artificial. Respecto a la localización en territorio peruano, si bien a la fecha de este documento no se dispone aún de cifras oficiales acerca del consumo energético en luz eléctrica ahorrado por maximizar el uso de luz natural en espacios interiores, sí se dispone de diversas fuentes en otras zonas geográficas con cifras relacionadas, las cuales evidencian un ahorro relevante en consumo y costos. *La Guía Aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios*¹, del Comité Español de Iluminación, presenta el caso de estudio del Edificio de oficinas en la factoría de EADS-CASA, cuyas consideraciones de diseño en luminarias interiores con sensores y principalmente, su diseño de fachada, permitió alcanzar solo en su zona de oficinas, un ahorro de consumo eléctrico de 26% a consecuencia de un mayor aprovechamiento de luz natural.

¹ Comité Español de Iluminación (CEI). *Guía Técnica Aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios*.

Por otro lado, Norbert Lechner² (2015) recoge cifras del Departamento de Energía de los Estados Unidos indicando que, de toda la cantidad de energía que una edificación promedio usualmente consume en luz artificial, la mitad de esta puede ser ahorrada por un mayor aprovechamiento de la iluminación de día. Incluso, en el caso de escuelas y oficinas este ahorro puede alcanzar hasta un 70%. Otras fuentes³ arrojan cifras de ahorro variadas lo cual refuerza aún más la importancia de uso de luz solar como fuente alternativa renovable para la iluminación interior. Sin embargo, dentro de los casos anteriormente mencionados, es notorio que la cantidad de consumo ahorrado necesariamente variará según cada tipo de edificación. Estas diferencias se deben a diversos factores relacionados con el entorno que rodea cada caso, así como las especificaciones técnicas internas relacionadas con las aberturas de cada espacio interior diseñado, por lo que éstos dependen principalmente de la localización geográfica del edificio, del uso, del porcentaje de superficie translúcida en la fachada, del tipo de cristal y acabados interiores.

Para medir el impacto de la luz en el espacio interior es preciso definir los conceptos básicos más relevantes.

² Lechner, 2015

³ Danpal Light Architecture

- **Angulo de visibilidad del cielo**

Mide la visibilidad libre del cielo desde el centro de la abertura (o ventana). Este ángulo se mide verticalmente⁴ entre el obstáculo más cercano al zenit (hacia el cielo) y el obstáculo en la parte más baja (cercana a la superficie terrestre). El centro de dicho ángulo es el punto medio del vidrio del vano. Este factor se utiliza para conocer cuanto obstaculizan los elementos del entorno externo (vegetación, edificaciones vecinas y otros elementos) a la llegada de luz diurna a la habitación. En la medición es importante considerar la altura del parapeto (en caso de una ventana) así como considerar que la altura del plano de trabajo será de 0.85m, por lo que toda abertura inferior a esa altura no puede ser considerada útil ni parte del cálculo lumínico.

- **Deslumbramiento**

Condición de visión en la que hay incomodidad o reducción en la aptitud para distinguir detalles u objetos, debido a una distribución o rango de luminancia inadecuado, o a contrastes extremos.⁵

- **Deslumbramiento directo**

Es aquel ocasionado cuando una fuente de luz en el campo de visión del ocupante, produce suficiente brillo para causar molestias, reducir o incluso interrumpir la función visual. Desde una perspectiva arquitectónica, mientras más cerca esté la fuente de luz, en excesiva emisión, al centro de visión del sujeto, el grado de deslumbramiento será mayor. Por ende, según la forma de un determinado espacio, considerando la ubicación de sus aberturas y ángulo de incidencia de luz⁶ será determinante para el confort visual del ocupante.

⁴ Energy Compliance Consultants. *What is Average Daylight Factor (ADF)?*

⁵ Norma Técnica EM.010 Instalaciones Eléctricas Interiores del Reglamento Nacional de Edificaciones.

⁶ Lechner, 2015

- **Deslumbramiento indirecto**

Es aquel tipo de deslumbramiento ocasionado a consecuencia de la reflectancia de la Luz sobre una superficie brillante y/o pulida, ocasionando, igualmente, suficiente brillo para reducir y anular las tareas visuales del ocupante. Ante un escenario de diseño arquitectónico, la solución natural a este tipo de deslumbramiento es el empleo de superficies menos brillantes o el empleo de luz difusa, entre otros, reduciendo así la falta de confort visual⁷.

- **Deslumbramiento indirecto**

Es aquel tipo de deslumbramiento ocasionado a consecuencia de la reflectancia de la Luz sobre una superficie brillante y/o pulida, ocasionando, igualmente, suficiente brillo para reducir y anular las tareas visuales del ocupante. Ante un escenario de diseño arquitectónico, la solución natural a este tipo de deslumbramiento es el empleo de superficies menos brillantes o el empleo de luz difusa, entre otros, reduciendo así la falta de confort visual⁸.

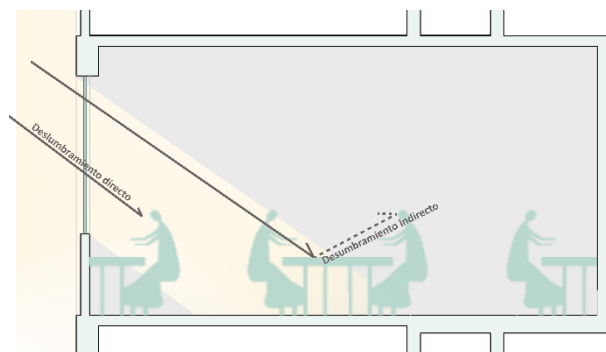


Imagen 01

Escenarios de deslumbramiento directo e indirecto de los ocupantes. Imagen por El Autor.

⁷ Lechner, 2015

⁸ Ídem.

- **Factor de Luz diurna**

Es un indicador que mide la relación entre la iluminación interior y exterior en condiciones de día nublado, el cual representa la condición más desfavorable de iluminación; por ende, mide el nivel de efectividad de un espacio interior respecto al ingreso de luz diurna desde el exterior⁹. El Factor de Luz Diurna se expresa en porcentaje (%). Como ejemplo, en un escenario constructivo, un espacio de oficinas tendrá un Factor de Luz Diurna (*Daylight Factor*) de 0.02 o 2% en un día nublado, si es que la iluminación exterior es de 12500 luxes y la interior de 250 luxes.

Durante el cálculo en un ambiente interior, este valor no es uniforme en toda la superficie, sino que existen sectores cuyo valor de FLD varía según su cercanía a la fuente de luz. Esto es notorio en simulaciones lumínicas donde se aprecian diversos valores derivados del FLD¹⁰:

- Factor de Luz Diurna Máximo, el valor en la zona con mayor acceso de luz.
- Factor de Luz Diurna Mínimo, el valor en la zona con menor acceso de luz.
- Factor de Luz Diurna medio, en la zona con valor intermedio en todo el ambiente evaluado.
- Factor de Luz Diurna Promedio, el valor promedio de todos los valores de FDL de toda la superficie, alto, medios y bajos.

El cálculo más conocido, basado en luxes interiores y exteriores se obtiene:

$$\begin{aligned}\text{Factor de Luz Diurna} &= (\text{Ilum.Int} / \text{Ilum.Ext}) \times 100 \\ &= (250/12500) * 100 = 2\%\end{aligned}$$

⁹ Lechner, 2015

¹⁰ Seiscubos. 2020. *Métodos de análisis estáticos*

Cálculo de iluminación natural en edificaciones

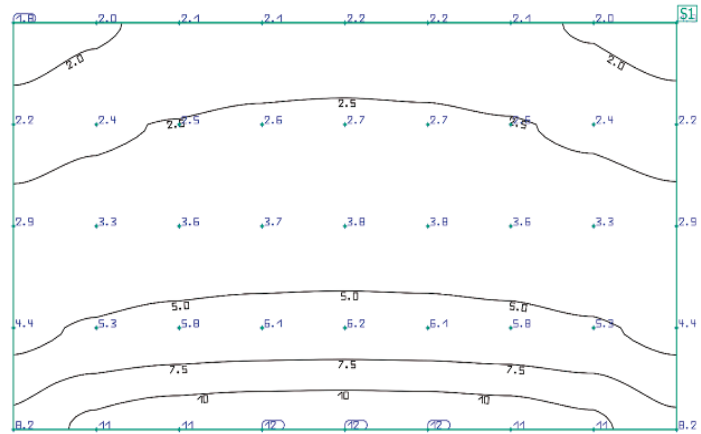


Imagen 02

Arriba: Vista en planta de un espacio interior de 7.50m x 5.00m con un vano translúcido de 6.00m x 1.25m. Abajo: Aproximación a la superficie útil en ese espacio a 0.85m de alto, donde se aprecia el Factor de Luz Diurna en varios sectores de la superficie. Nótese el valor es mayor cerca la fuente de ingreso de luz (ventana) y menor mientras más alejado esté de ella.

Fuente: Simulación en DIALux evo 9.2

Sin embargo, el cálculo de este valor puede ser determinado también mediante otra ecuación en función a factores constructivos en aberturas, acabados interiores, volumetrías en el entorno exterior u otros elementos que condicionan el ingreso de luz a la edificación¹¹, indicando un valor promedio del ambiente evaluado:

$$\text{Factor de Luz Diurna Promedio} = \frac{W}{A} \frac{T \theta}{(1 - R^2)}$$

W= Área translúcida de la ventana o vano (m²).

T= Factor Transmisión Luminosa de vidrio (%).

θ= Ángulo de luz visible al exterior, entre el punto medio de la ventana y el zenit, sin obstrucción de volúmenes externos.

A= Área de todas las superficies internas, paredes, pisos y cobertura (m²).

R= Factor de Reflectancia de luz ponderado en las superficies: paredes, pisos y cobertura.

¹¹ Australian National Construction Code. Part 2.4 Health and amenity. V2.4.4 Verification of suitable natural light.

- **Factor de Reflectancia**

Mide la relación entre la luz reflejada por una superficie y la luz que inicialmente incide en ella¹². Al ser un cociente fraccionario se mide en un valor decimal entre 0 a 1, sin embargo, su valor se puede expresar también de manera porcentual (0-100%).

Al incidir la luz sobre una superficie, parte de ella es absorbida, otra lo traspasa si la composición del material lo permite y otra porción es reflejada. Cada material y color como acabado constructivo reflejará la luz en diferentes magnitudes, siendo aquellas superficies visualmente más claras quienes reflejarán un mayor porcentaje de luz incidente, mientras que las más oscuras reflejarán un menor porcentaje¹³.

- **Factor de Transmisión Luminosa**

Mide la cantidad de luz que traspasa un vidrio o material translúcido tras incidir en él¹⁴. Se calcula dividiendo la cantidad de luz que llega al ambiente interior (luego de atravesar el vidrio o material translúcido del vano), sobre sobre el total de luz que incide previamente, procedente del exterior u otra fuente interior. Determina el grado de transparencia del material y se expresa en porcentaje (%).

A nivel comercial los cristales en los vanos permiten el acceso de diferentes cantidades de luz, lo cual debe expresarse en las características técnicas de cada producto.

¹² Iluminica. *Aprovechando la Reflectancia*.

¹³ García Dubús, L. *Relación entre Reflectancia y Reflectividad*.

¹⁴ Cuerva, E. 2007

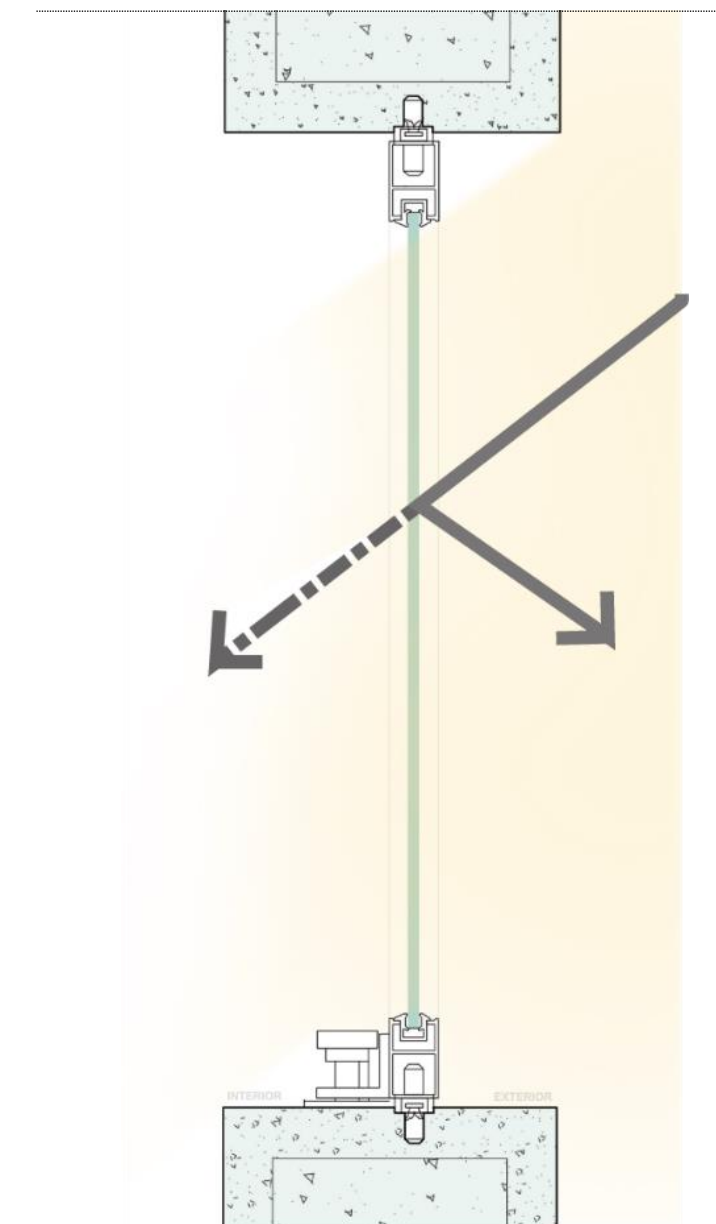


Imagen 03

Ilustración gráfica, Factor de Transmisión Luminosa (TL) en un cristal.

Del total de luz incidente, solo un porcentaje atraviesa el vidrio en el vano, y otra parte es absorbida en el material. Ese porcentaje varía según el tipo de cristal. Imagen por El Autor.

- **Iluminación natural cenital**

Es un tipo de iluminación en donde la luz es emitida desde un punto en una zona de altura superior y que incide sobre un área de ambiente ubicada a una menor altura de manera vertical o semi-vertical. En términos espaciales, hace referencia a la luz que ingresa desde la cubierta o techo, ya sea mediante una abertura para el acceso de luz diurna.

A nivel de diseño arquitectónico, el uso de claraboyas ha sido una de las herramientas más utilizadas para facilitar la iluminación natural cenital en espacios cerrados. Lechner (2015), menciona que la forma horizontal o semi-inclinada y vidriada de este tipo de aberturas, por lo general, permite el ingreso de una cantidad mucho mayor de luz, en comparación a una abertura clásica en un plano vertical. No obstante, las claraboyas, como toda abertura en la zona de cubierta, puede además ocasionar efectos negativos dentro del espacio al que sirve como el riesgo de deslumbramiento, lo cual puede afectar negativamente las tareas visuales del usuario.

Es importante mencionar además que, estando el territorio peruano cerca de la Línea Ecuatorial, la cantidad de luxes en el cielo será mucho mayor que en las zonas en latitudes más lejanas al norte y sur del globo terráqueo, por tanto, esto implica que la posibilidad de deslumbramiento será mayor en nuestro país.

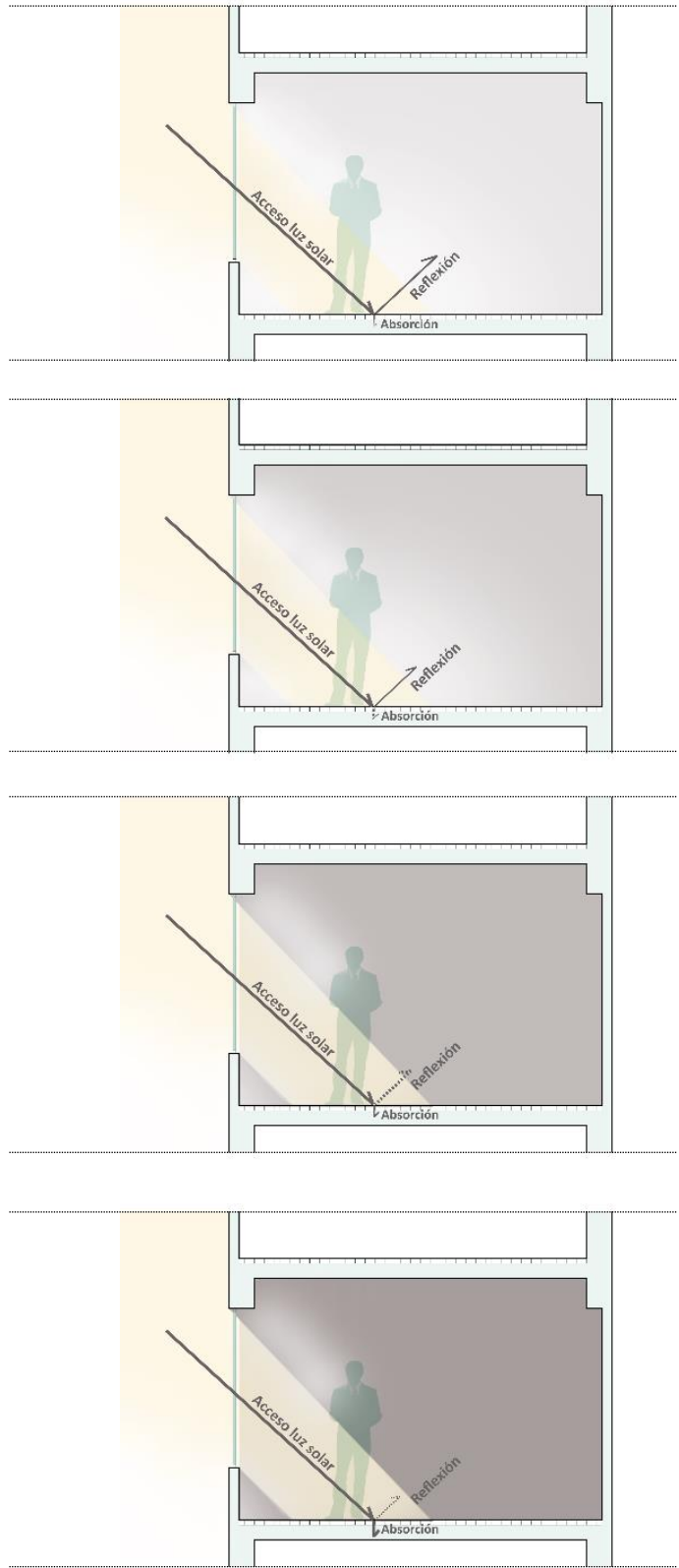


Imagen 04

Ilustración gráfica, Factor de Reflectancia de los colores en superficies interiores. Mientras más claros sean los colores o acabados interiores, la Reflectancia de la luz entrante será mayor. Mientras más oscuros los acabados, la superficie absorberá más luz y reflejará menos. Imagen por El Autor.

- **Iluminancia (E)**

Mide la cantidad de lúmenes o flujo luminoso que incide en cada metro cuadrado de superficie¹⁵. Su unidad de medida es el lux (lx), el cual equivale a un lumen/m². Esto quiere decir que, cuando una fuente luz emite 100 lúmenes uniformemente sobre 4m² de superficie, su iluminancia será de 25 lúmenes/m² o 25 luxes.

Es importante mencionar que, en Estados Unidos, así como otros países anglosajones, la unidad utilizada para la iluminancia (E) no es el lux, sino “pies-candelas” (*foot-candle - fc*), cuya equivalencia es de un lumen por pie cuadrado¹⁶. La relación de *foot-candle* con el lux es¹⁷:

$$\begin{aligned} 1 \text{ fc} / 10 \text{ lx} \\ 1 \text{ lx} / 0.1 \text{ fc} \end{aligned}$$

- **Intensidad Luminosa (I)**

Mide la intensidad de lúmenes o flujo luminoso emitido hacia una dirección puntual, en un determinado ángulo sólido¹⁸.

Su unidad de medida es la candela (cd). Dos lámparas, un tipo focal (spotlight) de menor ángulo de luz y otro tipo de lámpara de mayor ángulo de luz (Flood light), ambas pueden emitir el mismo flujo luminoso o la misma cantidad de lúmenes; sin embargo, la distribución de luz en cada caso será diferente.

La lámpara focal de ángulo más estrecho, tendrá mayor intensidad de luz, mientras que, la lámpara de mayor ángulo de distribución de luz tendrá una intensidad de luz menor.

¹⁵ Lechner, 2015

¹⁶ Konica Minolta. *Luminancia vs. Iluminancia*

¹⁷ García Fernández, J, Boix, O. *Fotometría. Magnitudes y Unidades de Medida*

¹⁸ Ídem

Cálculo de iluminación natural en edificaciones

Imagen 05

Iluminancia. Representación gráfica del flujo luminoso sobre una superficie.

Fuente: Universitat Politècnica de Catalunya. Curso de Iluminación. Morente Monserrat, Cristina y García Gil, Manuel. Gráfico adaptado.

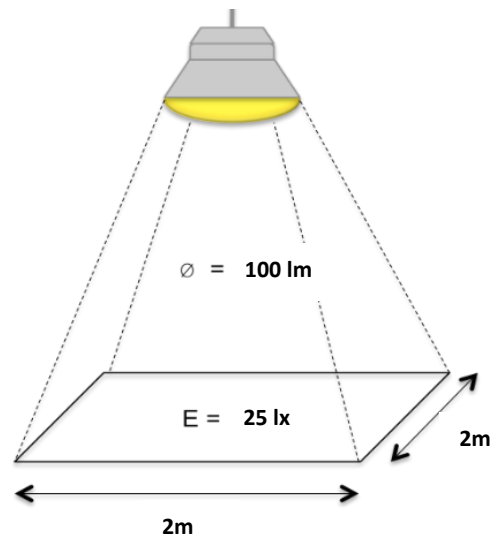
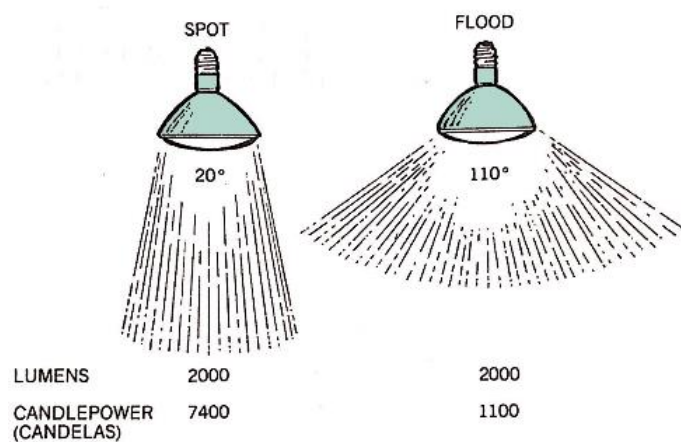


Imagen 06

Representación gráfica entre dos tipos de lámparas con el mismo flujo luminoso en ambos casos, sin embargo, cada una con diferente intensidad luminosa. Fuente: Lechner (2015)



- **Lumen (lm)**

Es la unidad de medida del flujo luminoso, el cual consiste en la cantidad de luz visible que una lámpara u otra fuente de luz emana hacia todas las direcciones¹⁹. A mayor cantidad de lúmenes emitido, mayor será la cantidad de brillo de la fuente de luz²⁰. El Diccionario de la Real Academia de la Lengua Española añade además que, el flujo luminoso es emitido por una fuente puntual uniforme en el vértice de un ángulo sólido de 1 estereorradián, cuya intensidad es 1 candela²¹.

- **Luz**

Es una forma de radiación y es una parte pequeña del espectro electromagnético sensible a la vista humana. Su longitud de onda atraviesa la secuencia roja, naranja, amarillo, verde, azul y violeta. Dentro del espectro electromagnético y más allá de la porción visible de luz, existen otros tipos de radiación las cuales no pueden ser percibidos por la vista humana: radiación ultravioleta y radiación infrarroja. La radiación ultravioleta se caracteriza por tener una longitud de onda más corta. Esto significa que es más destructiva, tiene propiedades germicidas y ocasiona que la piel se broncee y queme. Pese a no ser visible por la vista humana, puede ser percibida por varias especies de insectos. La radiación infrarroja tiene una longitud de onda más larga, esto es mucho más débil y menos dañina que la radiación ultravioleta. Un ejemplo de radiación infrarroja es aquella emitida por los animales de sangre caliente. Si bien este tipo de radiación no es visible para la vista humana, puede ser percibida por algunos otros animales²².

¹⁹ Lechner, 2015

²⁰ Ilutop. *Lúmenes ¿qué son y para qué sirven?*

²¹ Diccionario de la Real Academia Española

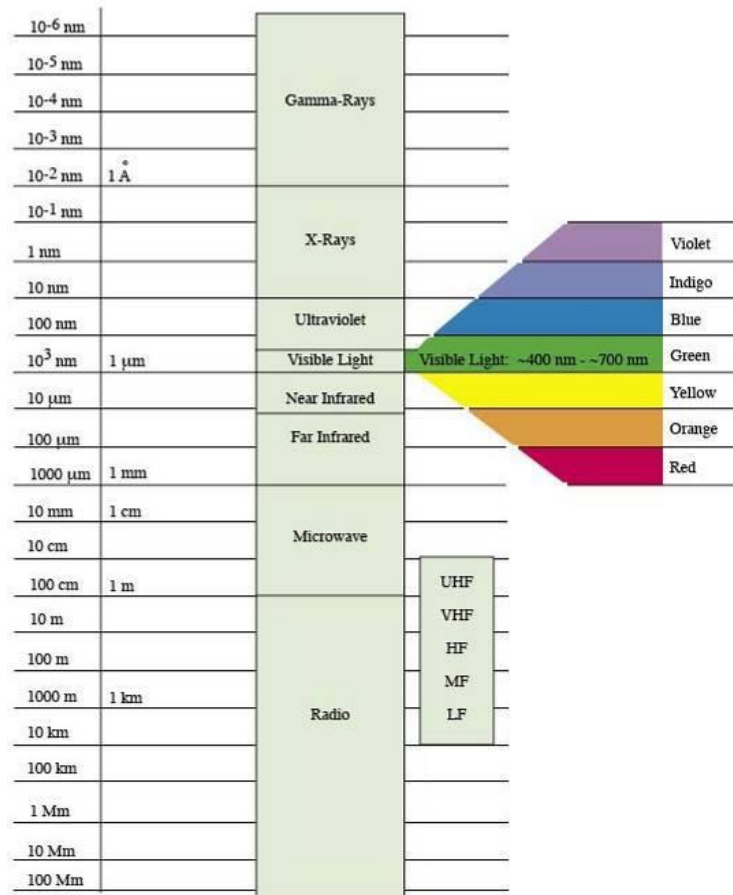
²² Lechner, 2015

Cálculo de iluminación natural en edificaciones

Imagen 07

Espectro electromagnético. Nótese que la luz visible representa una porción menor en todo el esquema. En la parte superior, radiación de onda más corta (rayos gamma, rayos X y radiación ultravioleta). En la parte más baja, radiación de onda más larga (infrarroja, microondas).

Fuente: Welsh School of Architecture, 2018. Climate, Comfort and Energy core module.



2. Estándar mínimo recomendable de Factor de Luz Diurna promedio

En esta etapa se procederá a definir valor de iluminación natural mínimo recomendable en ambientes de edificaciones para obtener confort visual. Para esto será necesario desarrollar los siguientes pasos:

- Definir la unidad de medición
- Establecer el valor de iluminancia interior según el uso de ambiente interior.
- Establecer el valor de la iluminancia exterior según la ubicación geográfica peruana.
- Determinar el valor de iluminación natural recomendable.

2.1 Factor de Luz Diurna como unidad de medición

Wieser (2020) en el *Catálogo de Módulos PRONIED, Estudio Bioclimático y Lumínico* menciona que, a diferencia de la luz artificial, la cual es constante en el funcionamiento de la luminaria, la luz natural varía frecuentemente a lo largo del día. Sin embargo, la relación entre la iluminación interior y exterior no varía, por lo tanto, la iluminación natural no debe ser medida en luxes sino en el Factor de Luz Diurna (Daylight Factor - DF), el cual considera la relación entre la iluminación interior y exterior, mediante la fórmula explicada en la sección de Conceptos Básicos:

$$DF = (\text{Ilum.Int./Ilum.Ext.}) \times 100$$

Tanto los valores para el nivel de Iluminancia Exterior (Ilum.Ext.) como el de Iluminancia Interior (Ilum.Int.) estarán expresados en luxes o candelas. La resultante, el Factor de Luz Diurna en porcentaje (%). Tomando en cuenta este procedimiento de cálculo, es preciso definir los componentes de esta ecuación.

2.2 Estableciendo el nivel de iluminancia interior según el uso del ambiente

En la actualidad, la normativa peruana vigente sobre parámetros de iluminación recomienda niveles mínimos de iluminancia para ambientes interiores, dependiendo del tipo de uso que cada espacio tenga; estos valores están expresado en cifras, principalmente luxes como unidad de medición. Si bien son varias Normas Técnicas en Perú enfocadas en estos requisitos, se ha considerado tomar como parámetro oficial la luminancia establecida en la actual norma EM.010, tomado en cuenta que ha sido elaborada según normas internacionales como *International Electrotechnical Commission* (CIE), *International Organization for Standardization* (ISO). Por tanto, los requisitos mínimos de iluminación se adoptarán de la mencionada norma.

Cabe precisar que, los ambientes listados son diversos y se extienden desde áreas residenciales, oficinas, educación, comercio, hasta espacios orientados a trabajos altamente especializados como laboratorios, sala de cirugías en el sector salud, zonas industriales como fabricación de vehículos, centrales de energía eléctrica, fabricación de joyas, entre otros. En aquellas áreas para trabajos de precisión, los trabajos a realizar precisaran de una luminancia mínimamente superior a las 500 luxes, y en muchos otros superior a los 1000 luxes, lo cual implica un nivel de iluminación bastante alto, que, necesariamente requerirá complementarse o depender exclusivamente de iluminación eléctrica. Por tal motivo, los espacios analizados en este estudio, son adoptados de la Norma Técnica EM.010 y **excluirán aquellos espacios de trabajos a precisión mencionados en el presente documento.**

La lista final de espacios involucrados figura en el Estándar (Anexo 01), en la sección 2.4 del presente documento, indicando el Factor de Luz Diurna promedio mínimo recomendable por cada tipo de ambiente

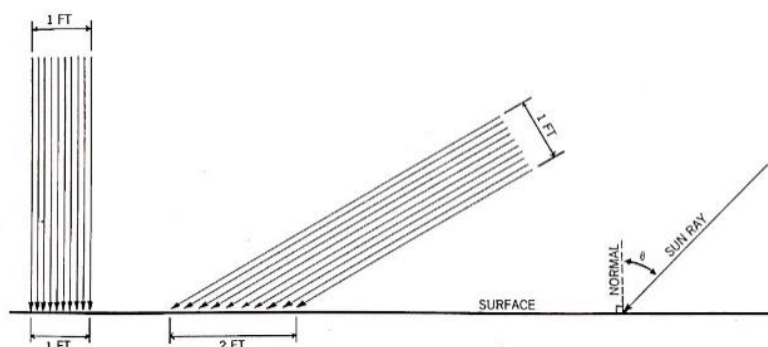


Imagen 08

A la izquierda. Una sección de 1 pie cuadrado (o 1m²) de rayos solares incidiendo en sentido vertical, afectarán por tanto 1 pie cuadrado (o 1m²) de superficie.

Al centro. Esa misma cantidad de rayos solares, pero en un menor ángulo de inclinación, afectará una mayor de superficie, por lo que cada pie o metro cuadrado recibirá la mitad de rayos solares, que se traduce a una iluminación y radiación más débil. A la derecha. Comparativa grafica según el ángulo de inclinación. Fuente: Lechner (2015)

2.3 Estableciendo el nivel de iluminancia exterior según la ubicación geográfica en Perú

El nivel de iluminancia en el cielo varía según la región geográfica. Esto significa que, la cantidad de radiación y la iluminancia que el sol emite sobre una superficie depende de su ángulo de altitud. Norbert Lechner define este efecto como la ley del coseno. Mientras más inclinado sea el ángulo de los rayos solares respecto a la superficie terrestre, estos atravesarán una mayor capa de atmósfera e iluminarán una mayor área de superficie, lo cual tornará la iluminación solar incidente más débil. Por el contrario, si es que los rayos solares inciden en sentido perpendicular a la superficie terrestre, los rayos solares atravesarán un menor espesor de atmósfera e iluminarán una menor área de superficie, pero con mayor intensidad de luz.

Por tal motivo, las zonas más alejadas a la línea ecuatorial presentan cielos con una menor iluminancia, mientras que, cuanto más cercano sea una región a la línea ecuatorial, la iluminancia del cielo presentará una mayor cantidad de luxes. Bajo esta lógica, Littlefield (2008) presentó la siguiente tabla estableciendo la cantidad de luxes en el cielo, según la latitud geográfica en el globo planetario. En el contexto peruano, Wieser (2020) menciona que, considerando que la costa peruana tiene una considerable extensión de territorio desde el departamento de Tumbes hasta Tacna, esta distancia de traduce a una sensible diferencia de latitud, lo cual influye en la cantidad de luxes diversa presente en el territorio. Por tal motivo y considerando la cercanía a la Línea Ecuatorial, **se puede asumir un nivel de iluminación de 12,500 luxes en el cielo del territorio peruano. Si bien el estudio citado de Wieser, Catálogo de Módulos PRONIED, Estudio Bioclimático y Lumínico, se enfoca en la región Costa Peruana, es oportuno adoptar este nivel de iluminación en el cielo como referencia para el cálculo lumínico en todo el territorio nacional como una condición conservadora y garantizar condiciones aceptables mínimas en espacios con condiciones más desfavorables.**

Tabla XIX - Iluminación del Cielo de Diseño

Latitud (Norte o Sur)	Iluminación del Cielo de Diseño
0°	17000 lux
10°	15000 lux
20°	13000 lux
30°	9000 lux
40°	6000 lux
50°	5000 lux

Imagen 09 - Tabla

Iluminancia del cielo de diseño según la latitud.

Fuente: Littlefield (2008). Citada por Wieser, M. Tabla adaptada por El Autor.



Imagen 10

Diferencia sustancial de ángulo de latitud en el extremo norte, costa norte (Tumbes) y extremo sur (Frontera con Chile). La diferencia de luxes en el cielo varía a sobre toda la superficie.

Imagen: Wikimedia (<https://cutt.ly/pKkuiqV>).

Adaptada por El Autor.

2.4 Determinando un valor de Factor de Luz Diurna promedio según cada espacio

Considerando los dos subcapítulos anteriores, se han definido los valores de iluminancia Interior e Iluminancia Exterior necesarios para determinar el Factor de Luz Diurna promedio en cada ambiente. Según cada espacio interior descrito, se tomará el nivel de iluminancia interior respectiva, el cual, junto al nivel de iluminación de cielo sustentado de 12,500 luxes según la ubicación geográfica de Perú (Iluminancia Exterior), y ambos valores serán aplicados para completar la ecuación indicada en el sub-capítulo 2.1.

Tras su aplicación, el coeficiente resultante será considerado como el **valor mínimo** de Factor de Luz Diurna en cada ambiente según su uso debe alcanzar o superar. Bajo este criterio, este valor ha sido calculado en todos los ambientes considerados en este estudio.

Se ha establecido así el valor medio mínimo de iluminación natural por tipo de ambiente y edificación como un estándar básico en el cuadro a continuación:

Anexo 01

Estándar: Factor de luz diurna promedio mínimo recomendable por ambiente

	Cantidad de Luxes mínimas requeridas **	Factor de Luz Diurna mínimo recomendado ***
VIVIENDA		
Zonas privadas		
Dormitorio	50	0.4
Cocina	300	2.4
Sala, Sala de estar	100	0.8
Comedor	100	0.8
Zonas comunes (aplicable cualquier otro tipo de edificación)		
Salas de estar (pública)	200	1.6
EDUCACIÓN		
Sala de juegos	300	2.4
Guarderías	300	2.4
Sala de manualidades	300	2.4
Aulas de profesores	300	2.4
Salas de lectura	500	4
Aulas*	---	4
Zona de pizarra	500	4
Mesa de demostraciones	500	4
Locales de artes y oficios	500	4
Locales de artes (en escuelas de arte)	750	6
Salas de dibujo técnico	750	6
Locales de prácticas y laboratorios	500	4
Aulas de manualidades	500	4
Taller de enseñanza y talleres en general	500	4
Locales de prácticas de música	300	2.4
Locales de prácticas de computación	300	2.4
Laboratorio de idiomas	300	2.4
Locales y talleres de preparación	500	4
Vestíbulo de entrada	200	1.6
Áreas de circulación, pasillos	100	0.8
Escaleras	150	1.2
Locales comunes de estudiantes y salas de reuniones	200	1.6
Locales de maestros	300	2.4
Biblioteca: estanterías	200	1.6
Biblioteca: áreas de lectura	500	4
Almacenes de material de profesores	100	0.8
Salas deportivas, gimnasios y piscinas	300	2.4
Cocina	500	4
OFICINAS		
Escritura, mecanografía, lectura, procesamiento de datos	500	4
Estación de trabajo CAD (Áreas de cubículos y trabajos en general)	500	4
SERVICIOS COMUNALES		
Bibliotecas		
Estanterías (de libros)	200	1.6
Áreas de lectura	500	4
Mostradores	500	4
RECREACIÓN Y DEPORTES		
Salas para ejercicios físicos	300	2.4

* Se requerirá que las aulas de clase alcancen como mínimo un Factor de Luz Diurna de 4, bajo el mismo criterio que Salas de Lectura.

** Cantidad de luxes por ambiente obtenidas extraída y adaptada de la Norma Técnica EM.010 - Instalaciones Eléctricas Interiores del Reglamento Nacional de Edificaciones vigente a la fecha de emisión del presente documento.

*** Cálculo de FLD considerando la ubicación geográfica de Perú con cielo de 12500 luxes.

DF = (Ilum.Int/Ilum.Ext.) x 100

3. Análisis el comportamiento de luz natural por simulación

En este capítulo se analizará el comportamiento de la luz natural dentro de un espacio interior y aquellas variables que condicionan su desempeño, a fin de determinar en cuánto varía el Factor de Luz Diurna ante ciertos cambios físicos en un espacio interior.

3.1 Variables que condicionan el Factor de Luz diurna

La luz natural en un espacio interior tiende a variar por diversos factores, tanto a nivel climático, considerando un día con cielo nublado, despejado o según la hora en el día; también respecto al nivel del entorno circundante, dada la vegetación, geografía local o volúmenes en el entorno urbano inmediato; y, por factores relacionados al diseño interior de dicho espacio, acabados interiores, distribución de mobiliario, diseño de aberturas entre otros elementos. Considerando esas variables, se realizaron diversos cálculos de Factor de Luz Diurna promedio en ambientes interiores, los cuales fueron sometidos a cambios en su diseño interior, con el fin de comprender como varía su desempeño lumínico según dicho ambiente interior presente alteraciones.

Se modelaron 06 diferentes espacios interiores, de diferentes medidas laterales y de altura a los cuales se denominarán **Variantes**, a través del software DIALux evo 9.2, el cual es la versión más reciente al momento en que se desarrolló este capítulo. Esta herramienta permite medir el desempeño lumínico utilizando el Factor de Luz Diurna, cuyo valor es disgregado en diferentes puntos a lo largo de la superficie de la habitación modelada, mostrando posteriormente un promedio final en todo ese ambiente.

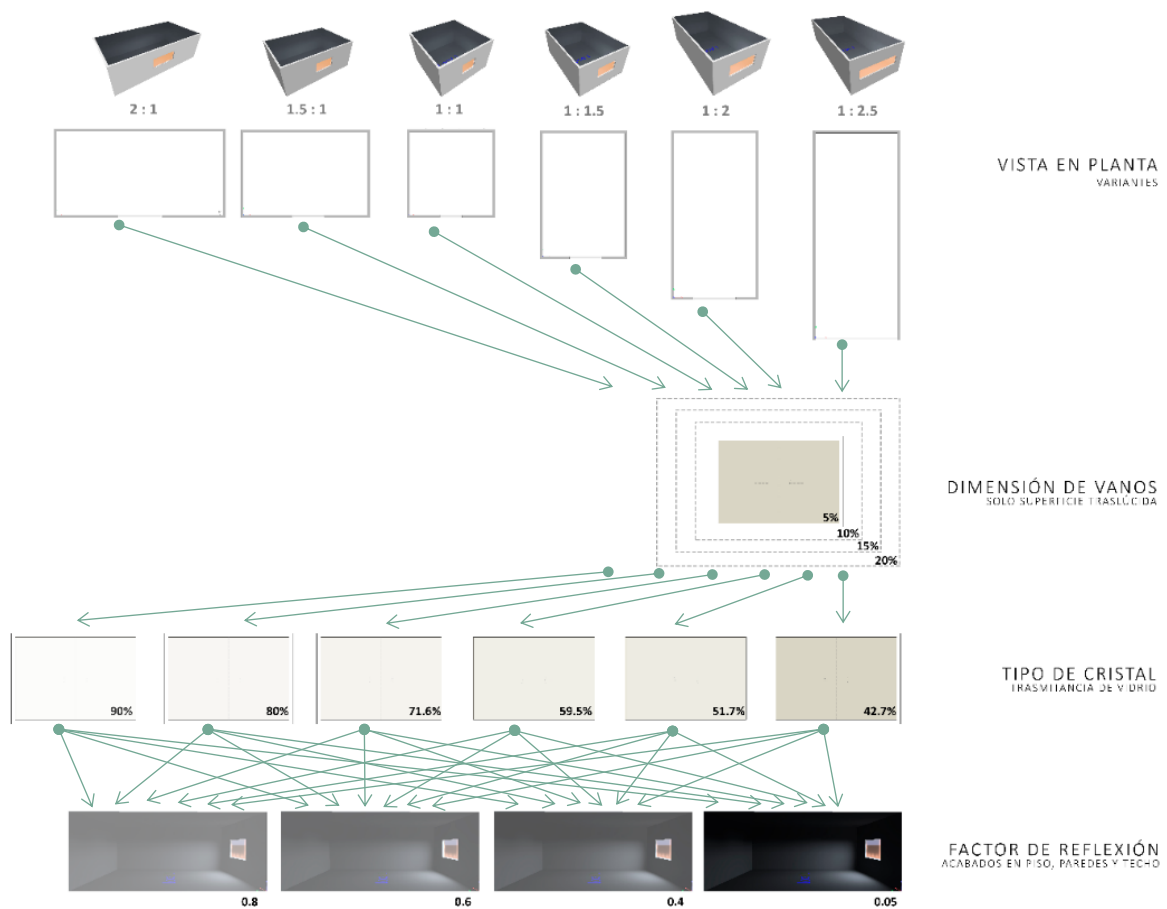
Sin embargo, cada una de estas **Variantes** serán al mismo tiempo simuladas con diferentes tamaños de aberturas y, cada una de estas, con cristales de distintos valores en el Factor de Transmisión Luminosa (TL), obteniendo así un total de **24 sub-variantes**. Cada una de ellas serán simuladas además en cuatro diferentes escenarios, con superficies interiores de diferentes valores de Factor de Reflectancia que representan diversos posibles acabados en materiales y colores, para, así, obtener el Factor de Luz Diurna promedio en todos los escenarios posibles y comprender integralmente el comportamiento lumínico según el ambiente interior cambie.

Para efectos del presente análisis, se consideró un mismo escenario exterior, de cielo despejado y sin volumetrías circundantes que obstaculicen la llegada de luz a los vanos de los ambientes interiores modelados y simulados, enfocándose únicamente en las variaciones de luz natural a consecuencia del diseño interior de la habitación, como el tipo de cristal, tamaño de vanos y el factor de reflectancia en piso, muros y techo interiores.

Cálculo de iluminación natural en edificaciones

Imagen 11

Esquema de simulación. 06 variantes según la proporción en planta, 24 sub-variantes según variaciones en tamaño de abertura y transmisión luminosa de los vidrios de abertura y variaciones respecto al grado de Reflectancia de piso, paredes y techo. Imagen por El Autor.



• Dimensiones de los espacios interiores

Los espacios interiores o Variantes cambiarán en función a la proporción de sus dimensiones, considerando medidas típicas de ambientes residenciales, comerciales y oficinas principalmente. Se han considerado las siguientes proporciones de medidas:

TIPO DE AMBIENTE APROXIMADO	SUPERFICIE DE PISO			
	PROPORCIÓN	LARGO (m)	ANCHO (m)	AREA (m ²)
Sala de lectura, Aula	2:1	10.00	5.00	50.00
Aula, Oficina	1.5 : 1	7.50	5.00	37.50
Oficina, Sala de juntas	1 : 1	5.00	5.00	25.00
Sala-comedor (Sector A), Taller	1 : 1.5	5.00	7.50	37.50
Ambientes especiales	1 : 2	5.00	10.00	50.00
Ambientes especiales	1 : 2.5	5.00	12.50	62.50

Tabla 01

Proporción de medidas laterales respecto a sus ambientes aproximados.

• Dimensiones de vanos

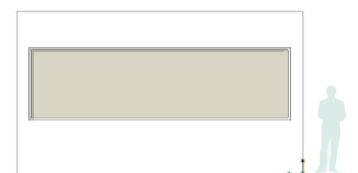
Para definir el tamaño de las aberturas, se considerará que los vanos translúcidos tengan una superficie proporcional al área de piso de la habitación a la que sirven. Por ende, en los diversos escenarios de simulación, se ha escogido trabajar con cuatro tamaños diferentes de aberturas como muestras representativas: aberturas o vanos con tamaños del 5%; 10%; 15% y 20%, respecto a la superficie de piso de su respectivo ambiente. Cada uno de estos tamaños, será simulado en cada Variante de espacio interior.



Fachada con 5% abertura respecto superficie de piso



Fachada con 10% abertura respecto superficie de piso



Fachada con 15% abertura respecto superficie de piso



Fachada con 20% abertura respecto superficie de piso

Imagen 12

Proporción de los vanos empleados en la fachada. Imagen por El Autor.

• Tipos de cristal

Los diversos tipos de cristales a emplear en la simulación se han definido en base a valores lumínicos (Factor de Transmisión Luminosa - TL) disponibles en el mercado, así como por valores de simulación disponibles en el software DIALux evo 9.2. Por tanto, se trabajará con cristales de porcentaje de transmisión luminosa de 42.7%; 51.7%; 59.5%; 71.6%; 80.5% y 90%.

Cada una de estas muestras permitirá el acceso de diversas cantidades de luz al espacio interior y su uso permitirá establecer su relación respecto al Factor de Luz Diurna promedio. Cada uno de estos tipos de cristal, será simulado en cada Variante de espacio interior con cada tamaño de abertura.

• Factor de Reflectancia

Se emplearán superficies interiores, paredes, piso y cobertura, con diversas capacidades de reflectancia de luz en cuatro escenarios distintos:

- Con superficies de **Factor de Reflectancia a 0.8**. Este será considerado el valor **Base**, el cual es equivalente a tener las superficies interiores de pintura u otro material de color blanco mate. Se tomará este valor como máximo al ser un color blanco un acabado representativo en diversos diseños interiores, principalmente en vivienda y oficinas. Es importante mencionar que existen acabados de mayor Factor de Reflectancia, como los espejos, aluminio u otros materiales altamente brillantes, sin embargo, estos no serán usados como valor máximo en el presente trabajo al ser poco usuales en edificaciones comunes.

- Con superficies de **Factor de Reflectancia a 0.6**. Valor intermedio, consiste en reducir el factor de Reflectancia en un 25% respecto al valor **Base** de 0.8. Se tomará como un segundo escenario para medir en cuanto cambia Factor de Luz Diurna. Equivale al uso de acabados de color amarillo claro o crema.

- Con superficies de **Factor de Reflectancia a 0.4**. Valor intermedio, consiste en reducir el factor de Reflectancia a la mitad respecto al valor **Base** de 0.8. Equivale a una superficie con acabados u otros materiales de color rojo, azul, verde o gris en tonalidad clara, como algunos ejemplos.

- Con superficies de **Factor de Reflectancia a 0.05**. Valor mínimo, consiste en reducir el Factor de Reflectancia en un 95% respecto al valor **Base** de 0.8. Equivale a una superficie con pintura o acabados en color negro mate.

- **Ubicación del modelo base**

El emplazamiento es relevante en el resultado final de cada simulación y DIALux evo 9.2 exige definir una ubicación geográfica determinada para llevar a cabo una simulación lumínica. Por tal motivo, se tomará a la ciudad de Lima en la configuración del software en mención. Si bien la cantidad de luxes en el Cielo de Diseño varía según la latitud en el que cada ciudad se ubica en el globo planetario, y, dada la notoria diferencia de latitudes a lo largo del territorio peruano, se ha optado escoger a la ciudad capital como escenario de análisis al tener una ubicación relativamente central en el eje norte-sur de todo el territorio.

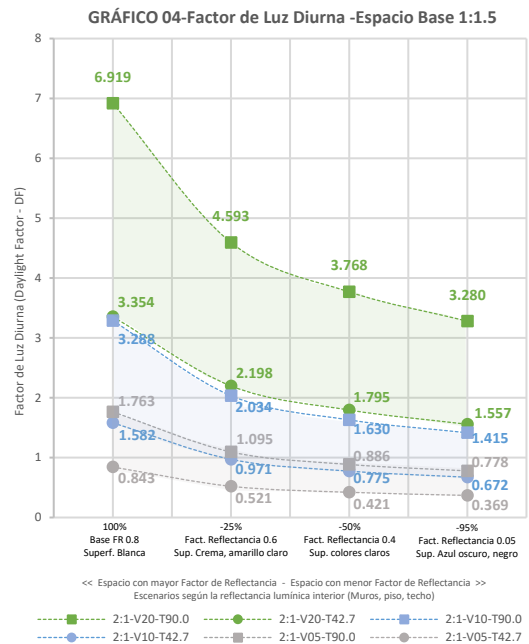
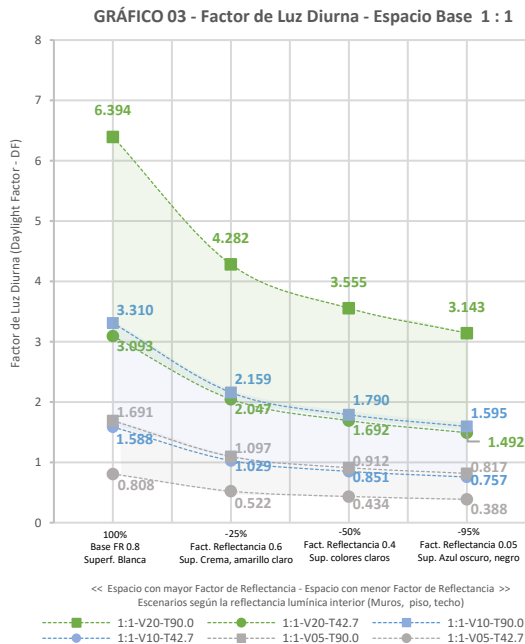
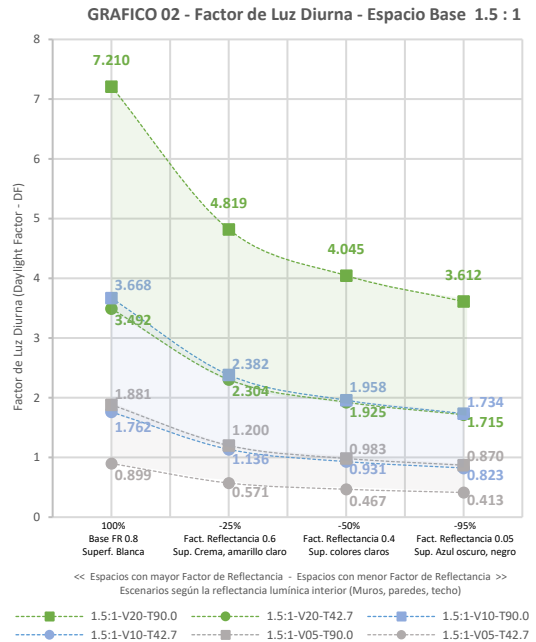
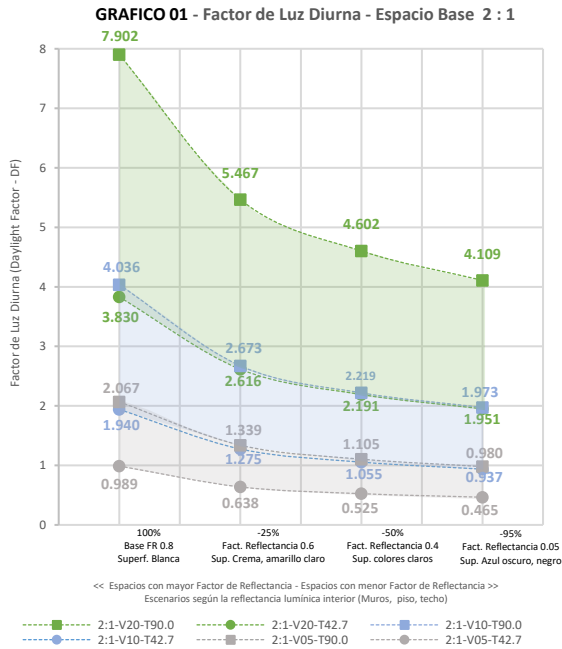
3.2 Resultados de simulación y análisis de desempeño lumínico diurno

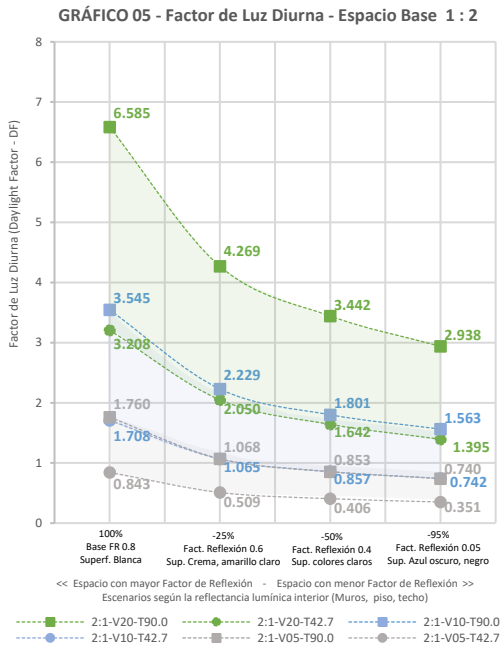
Considerando las variables, cada una de las 24 sub-variantes fueron puestas a prueba a fin de conocer el Factor de Luz Diurna promedio en cada caso.

Todas ellas ordenadas en cuatro grupos según el tamaño de la abertura o vanos, y, subdivididas a la vez en 06 casos según cada tipo de cristal, desde el de menor Factor de Transmisión Luminosa (42.7%) hasta el cristal con mayor capacidad de transmisión de luz (90%). La Tabla de Resultados sobre el Factor de Luz Diurna promedio obtenido en cada caso se indican en el **Anexo 02 - Simulaciones** del presente trabajo.

A continuación, se presentan cuatro gráficos que resumen los resultados en los espacios con proporciones 2:1; 1.5:1; 1:1; 1:1.5 y 1:2:

Cálculo de iluminación natural en edificaciones





GRÁFICOS 01 al 05.

Sin importar la **Variante** o tamaño de habitación, el Factor de Luz Diurna en el espacio interior aumenta o disminuye proporcionalmente al tamaño de la abertura y según cambie el porcentaje de Transmitancia Luminosa del cristal. Cada gráfico está basado en los resultados mostrados en la Tabla del **Anexo 02 - Simulaciones**

De manera lógica, las cifras obtenidas evidencian que, a mayor tamaño de abertura de vano, el Factor de Luz Diurna promedio será mayor, es decir, habrá más acceso de luz natural al interior del espacio. Asimismo, esa correlación se aplica al Factor de Transmisión Luminosa (TL) de cada cristal simulado, mientras mayor sea ese coeficiente y transmita mayor flujo de luz desde el exterior al interior, el Factor de Luz Diurna promedio será mayor, igualmente.

• **Relación entre el Factor de Luz Diurna promedio y el tamaño de aberturas**

Considerando esas correlaciones, los resultados en la tabla muestran además que, si el tamaño de la abertura se duplica, manteniendo el mismo tipo de cristal y los mismos Factores de Reflectancia de superficie (colores), su respectivo Factor de Luz Diurna promedio se duplicará igualmente, aumentando así de manera proporcional. Esto sucede en todos los casos, sin importar la Variante o tamaño de habitación simulada. Este procedimiento puede ser comprobado mediante una operación matemática de regla de tres simple comparando cualquier simulación en la tabla bajo esa condición.

Se toma como ejemplo las sub-variantes 1 y 7 del espacio Variante 2:1, las cuales presentan el mismo tipo de cristal, pero diferente tamaño de abertura, 5% y 10% en cada caso. Al ser la sub-variante 7 del doble de tamaño de vano de la sub-variante 1, su Factor de Luz Diurna promedio será también el doble respecto a sub-variante 1. Estas diferencias proporcionales se aplican en todos los espacios Variantes, siempre que el tamaño de la abertura y el Factor de reflectancia en las superficies interiores sean los mismos. Otra manera de comprobar la proporción de estos valores es mediante la operación de regla de tres simple, entre el porcentaje de tamaño del vano y el Factor de Luz Diurna promedio, manteniendo igual los demás valores de los cristales y superficies interiores:

CÓDIGO	VARIANTE DEL ESPACIO BASE	% TAMAÑO DE VANO	% TRANSMISIÓN LUMÍNICA	DAYLIGHT FACTOR (%)	DAYLIGHT FACTOR (%)	DAYLIGHT FACTOR (%)	DAYLIGHT FACTOR (%)
				BASE_Fact. Reflectancia 0.80 Paredes 80% Techo 80% Piso 80%	-25%_Fact. Reflectancia 0.60 Paredes 60% Techo 60% Piso 60%	-50%_Fact. Reflectancia 0.40 Paredes 40% Techo 40% Piso 40%	-95%_Fact. Reflectancia 0.05 Paredes 05% Techo 05% Piso 05%
2:1-V05-T42.7	Sub-variante 01	5.00	42.70	0.989	0.638 -35.5	0.525 -46.9	0.465 -53.0
2:1-V10-T42.7	Sub-variante 07	10.00	42.70	1.940	1.275 -34.3	1.055 -45.6	0.937 -52.0

Tabla 02

Muestra comparativa entre el tamaño de abertura y la iluminación natural interior resultante (Factor de Luz Diurna) en la variante 2:1. Cuadro extraído de la tabla General de Resultados.

• **Relación entre el Factor de Luz Diurna promedio y el Factor de Transmisión luminosa**

Según lo anteriormente señalado, si el Factor de Transmisión Luminosa (TL) del cristal se duplica, sin alterar el tamaño de la abertura translúcida y el Factor de Reflectancia en las superficies interiores, entonces, el Factor de Luz Diurna se duplicará de manera proporcional.

A fin de comprobar esta proporción de valores, se utiliza también la operación de regla de tres simple entre ambos valores:

CÓDIGO	VARIANTE DEL ESPACIO BASE	% TAMAÑO DE VANO	% TRANSMISIÓN LUMÍNICA	DAYLIGHT FACTOR (%)	DAYLIGHT FACTOR (%)	DAYLIGHT FACTOR (%)	DAYLIGHT FACTOR (%)
				BASE_Fact. Reflectancia 0.80 Paredes 80% Techo 80% Piso 80%	-25%_Fact. Reflectancia 0.60 Paredes 60% Techo 60% Piso 60%	-50%_Fact. Reflectancia 0.40 Paredes 40% Techo 40% Piso 40%	-95%_Fact. Reflectancia 0.05 Paredes 05% Techo 05% Piso 05%
1.5:1-V05-T42.7	Sub-variante 01	5.00	42.70	0.899	0.571 -36.5	0.467 -48.1	0.413 -54.1
1.5:1-V05-T90.0	Sub-variante 06	5.00	90.00	1.881	1.200 -36.2	0.983 -47.7	0.870 -53.7
1.5:1-V10-T42.7	Sub-variante 07	10.00	42.70	1.762	1.136 -35.5	0.931 -47.2	0.823 -51.7
1.5:1-V10-T90.0	Sub-variante 12	10.00	90.00	3.668	2.382 -35.1	1.958 -46.6	1.734 -52.7
1.5:1-V15-T42.7	Sub-variante 13	15.00	42.70	2.503	1.617 -35.4	1.321 -47.2	1.163 -53.5
1.5:1-V15-T90.0	Sub-variante 18	15.00	90.00	5.187	3.387 -34.7	2.778 -46.4	2.450 -52.8
1.5:1-V20-T42.7	Sub-variante 19	20.00	42.70	3.492	2.304 -34	1.925 -44.9	1.715 -50.9
1.5:1-V20-T90.0	Sub-variante 24	20.00	90.00	7.210	4.819 -33.2	4.045 -43.9	3.612 -49.9

Tabla 03

Muestra comparativa entre Factor de Transmisión Luminosa (TL) y el Factor de Luz Diurna en el espacio Variante 1.5:1. Las cifras obtenidas muestran que, al (casi) duplicarse el Factor de Transmisión Luminosa, el Factor de Luz Diurna aumenta en esa misma proporción. Cuadro extraído de la tabla General de Resultados.

Se toma como ejemplo el espacio o variante 1.5:1, y se compara el desempeño lumínico en sus sub-variantes 01 y 06; 07 y 12; 13 y 18; 19 y 24, que, al tener el mismo tamaño de abertura y los mismos Factores de Reflectancia de superficie interiores (colores o materiales), tienen, sin embargo, cristales de diferente Transmisión Lumínica, de 42.7% y 90% respectivamente. Dada esa diferencia, el Factor de Luz Diurna promedio obtenido en cada caso (en el escenario con Factor de Reflectancia de 0.8; 0.6; 0.4 y 0.05) aumenta en la misma cercana proporción.

- **Relación entre el Factor de Luz Diurna y el Factor de Reflectancia en paredes pisos y techo (caras interiores)**

Los resultados de la simulación muestran que, a menor Factor de Reflectancia en los muros, piso y cobertura interior del espacio, el Factor de Luz Diurna promedio se reducirá dentro de ese ambiente. Sin embargo, a medida que el Factor de Reflectancia se va reduciendo progresivamente (en -25%, -50%; -95%, respecto al escenario con Factor de Reflectancia más alto de 0.80), la iluminación natural no decrecerá de manera proporcional en cada caso, sino que se irá reduciendo, pero no de manera proporcional, pues al llegar al escenario con menos Factor de Reflectancia, (0.05, con -95%) éste se estanca en un valor mínimo, pero aún mantiene presencia de luz interior.

Este resultado se explica ya que, pese a que los colores de las superficies se tornen más oscuros y por ende menos reflectantes, el Factor de Luz Diurna no llegará necesariamente a cero debido a la presencia de la abertura en todos los escenarios simulados. Por tal motivo, el decrecimiento de luz natural al interior no se reduce de manera proporcional.

Las cifras obtenidas muestran que, **al reducir 25% el Factor de Reflectancia interior (quedando FR 0.6)**, el Factor de Luz Diurna promedio se reduce **entre 30.8% a 40.8%**, respecto al FR Base de 0.8. Este resultado dependerá de cada una de las 06 variantes de la habitación, es decir de la proporción de largo y ancho cada espacio simulado y, además, de la ubicación de la abertura, sea en la cara lateral más larga o más corta de la habitación.

Bajo estas condicionantes, **si el Factor de Reflectancia del espacio interior se reduce de 0.8 a la mitad, quedando en FR 0.4**, el Factor de Luz Diurna promedio volverá a decrecer entre **41.8% a 51.8%**. Finalmente, si la reflectancia de las superficies interiores se **reduce al mínimo (en -95%)**, el Factor de Luz Diurna promedio nuevamente se decrecerá entre **48% a 59.9%**, según la proporción de la habitación.

- **Relación entre el Factor de Luz Diurna y la ubicación de las aberturas**

La Tabla 04 es un extracto de los resultados obtenidos en la tabla general del Anexo 02. Ésta compara el Factor de Luz Diurna obtenido entre las habitaciones con ventana en la cara más larga (2 : 1 y 1.5 : 1) respecto a sus contrapartes con ventana en la cara más corta (1 : 2 y 1 : 1.5); y cada una de ellas en cuatro diferentes escenarios con diferentes factores de reflectancia de sus superficies interiores (muros, pisos y techos).

Los resultados indican que, siempre que tenga el mismo tamaño de ventana y el mismo valor de Factor de Transmisión Luminosa en el vidrio, las habitaciones con abertura en la cara más corta (medidas laterales de **proporción 1:2**) tendrán un menor Factor de Luz Diurna promedio, entre **12.6% a 22.1%** menos que su contraparte con abertura en la cara más larga (habitaciones de **proporción 2:1**). Esto dependiendo del Factor de Reflectancia de los acabados interiores. Asimismo, comparando las habitaciones de **proporción 1.5 : 1** (vano en la cara más larga) y **1 : 1.5** (vano En la cara más corta), el Factor de Luz Diurna promedio será igualmente mayor cuando el vano se ubica en la cara más larga, mientras que, este valor se reducirá entre **6.3% a 12.3%** cuando el vano translucido se ubica en la cara más corta.

Estas variaciones se deben a que se están comparando habitaciones con diferente valor de Factor de Reflectancia en sus superficies interiores. Al comparar dos habitaciones con las mismas medidas laterales, pero con vanos en diferentes caras (2:1 con 1:2 y 1.5:1 con 1:1.5), aquellas con mayor Factor de Reflectancia (0.8, equivalente a superficies blancas) tendrán una menor diferencia promedio: 12.6% de diferencia entre las habitaciones de proporción 2:1 con 1:2, mientras que 6.3% de diferencia habrá entre las habitaciones de proporción 1.5:1 con 1:1.5. A medida que esta comparación se hace reduciendo el Factor de Reflectancia, las diferencias en el desempeño lumínico se incrementan según muestra la Tabla 04.

Esta comparación de resultados muestra además que, en cada escenario, el Factor de Luz Diurna promedio es mayor cuando la abertura está localizada en la cara más larga. Este resultado se explica debido a que la luz alcanza la pared opuesta al vano, y se distribuye mejor en la habitación al estar el vano centrado. Por otro lado, cuando el vano está en la cara lateral más corta, la luz diurna entrante difícilmente alcanza el extremo opuesto de la habitación con distancia más larga, dejando una mayor superficie de piso con poca o nula luz natural.

Finalmente, estos valores de Factor de Luz Diurna promedio fueron obtenidos en un escenario de vanos centrados en sus respectivas paredes, sean las caras laterales más extensas o más cortas de la habitación.

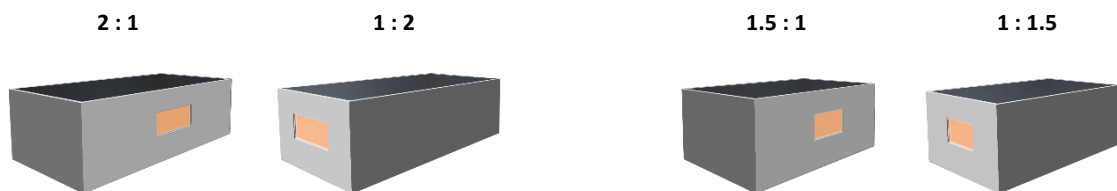


Imagen 13

Ejemplo comparativo entre dos habitaciones de proporción 1:2 con 2:1 (izquierda) y 1:1.5 con 1.5:1 (derecha). La Tabla 04 realiza esta misma comparación en todos los escenarios posible, siempre y cuando ambas sub-variante tengan el mismo tamaño de ventana, mismo tipo de vidrio y mismo Factor de Reflectancia, pero con la abertura (ventana) en diferentes caras laterales.

Cálculo de iluminación natural en edificaciones

		DAYLIGHT FACTOR (%) BASE_Fact. Reflectancia 0.80 Paredes 80% Techo 80% Piso 80%			DAYLIGHT FACTOR (%) -25%_Fact. Reflectancia 0.60 Paredes 60% Techo 60% Piso 60%			DAYLIGHT FACTOR (%) -50%_Fact. Reflectancia 0.40 Paredes 40% Techo 40% Piso 40%			DAYLIGHT FACTOR (%) -95%_Fact. Reflectancia 0.05 Paredes 05% Techo 05% Piso 05%		
		Se reduce en %		Se reduce en %		Se reduce en %		Se reduce en %		Se reduce en %		Se reduce en %	
		2:1	1:2	2:1	1:2	2:1	1:2	2:1	1:2	2:1	1:2	2:1	1:2
V05-42.7	Sub-variante 01	0.989	0.843	-14.8	0.638	0.509	-20.2	0.525	0.406	-22.7	0.465	0.351	-24.5
V05-51.7	Sub-variante 02	1.193	1.016	-14.8	0.770	0.615	-20.1	0.635	0.490	-22.8	0.562	0.425	-24.4
V05-59.5	Sub-variante 03	1.373	1.169	-14.9	0.887	0.708	-20.2	0.731	0.564	-22.8	0.647	0.489	-24.4
V05-71.6	Sub-variante 04	1.649	1.404	-14.9	1.067	0.851	-20.2	0.879	0.679	-22.8	0.780	0.589	-24.5
V05-80.5	Sub-variante 05	1.855	1.591	-14.8	1.199	0.957	-20.2	0.988	0.763	-22.8	0.876	0.662	-24.4
V05-90.0	Sub-variante 06	2.067	1.760	-14.9	1.339	1.068	-20.2	1.105	0.853	-22.8	0.980	0.740	-24.5
V10-42.7	Sub-variante 07	1.940	1.708	-12.0	1.275	1.065	-16.5	1.055	0.857	-18.8	0.937	0.742	-20.8
V10-51.7	Sub-variante 08	2.336	2.054	-12.1	1.539	1.285	-16.5	1.275	1.035	-18.8	1.132	0.897	-20.8
V10-59.5	Sub-variante 09	2.686	2.362	-12.1	1.771	1.478	-16.5	1.468	1.191	-18.9	1.304	1.032	-20.9
V10-71.6	Sub-variante 10	3.222	2.831	-12.1	2.130	1.777	-16.6	1.767	1.434	-18.8	1.57	1.243	-20.8
V10-80.5	Sub-variante 11	3.632	3.193	-12.1	2.396	2.000	-16.5	1.986	1.612	-18.8	1.764	1.397	-20.8
V10-90.0	Sub-variante 12	4.036	3.545	-12.2	2.673	2.229	-16.6	2.219	1.801	-18.8	1.973	1.563	-20.8
V15-42.7	Sub-variante 13	2.809	2.613	-7.0	1.868	1.681	-10.0	1.549	1.364	-11.9	1.376	1.177	-14.5
V15-51.7	Sub-variante 14	3.373	3.139	-6.9	2.253	2.027	-10.0	1.872	1.647	-12.0	1.664	1.423	-14.5
V15-59.5	Sub-variante 15	3.881	3.607	-7.1	2.592	2.332	-10.0	2.154	1.896	-12.0	1.915	1.638	-14.5
V15-71.6	Sub-variante 16	4.650	4.318	-7.1	3.116	2.802	-10.1	2.592	2.281	-12.0	2.306	1.972	-14.5
V15-80.5	Sub-variante 17	5.248	4.876	-7.1	3.507	3.154	-10.1	2.914	2.565	-12.0	2.591	2.216	-14.5
V15-90.0	Sub-variante 18	5.820	5.400	-7.2	3.909	3.513	-10.1	3.255	2.864	-12.0	2.898	2.478	-14.5
V20-42.7	Sub-variante 19	3.830	3.208	-16.2	2.616	2.050	-21.6	2.191	1.642	-25.1	1.951	1.395	-28.5
V20-51.7	Sub-variante 20	4.598	3.843	-16.4	3.154	2.469	-21.7	2.647	1.982	-25.1	2.359	1.687	-28.5
V20-59.5	Sub-variante 21	5.281	4.414	-16.4	3.628	2.839	-21.7	3.046	2.281	-25.1	2.716	1.942	-28.5
V20-71.6	Sub-variante 22	6.321	5.271	-16.6	4.359	3.407	-21.8	3.666	2.742	-25.2	3.271	2.338	-28.5
V20-80.5	Sub-variante 23	7.139	5.965	-16.4	4.907	3.84	-21.7	4.121	3.085	-25.1	3.674	2.627	-28.5
V20-90.0	Sub-variante 24	7.902	6.585	-16.7	5.467	4.269	-21.9	4.602	3.442	-25.2	4.109	2.938	-28.5
Promedio				-12.6 %			-17.1 %			-19.7 %			-22.1 %

		DAYLIGHT FACTOR (%) BASE_Fact. Reflectancia 0.80 Paredes 80% Techo 80% Piso 80%			DAYLIGHT FACTOR (%) -25%_Fact. Reflectancia 0.60 Paredes 60% Techo 60% Piso 60%			DAYLIGHT FACTOR (%) -50%_Fact. Reflectancia 0.40 Paredes 40% Techo 40% Piso 40%			DAYLIGHT FACTOR (%) -95%_Fact. Reflectancia 0.05 Paredes 05% Techo 05% Piso 05%		
		Se reduce en %		Se reduce en %		Se reduce en %		Se reduce en %		Se reduce en %		Se reduce en %	
		1.5:1	1:1.5	1.5:1	1:1.5	1.5:1	1:1.5	1.5:1	1:1.5	1.5:1	1:1.5	1.5:1	1:1.5
V05-42.7	Sub-variante 01	0.899	0.843	-6.2	0.571	0.521	-8.8	0.467	0.421	-9.9	0.413	0.369	-10.7
V05-51.7	Sub-variante 02	1.085	1.017	-6.3	0.690	0.630	-8.7	0.565	0.509	-9.9	0.499	0.447	-10.4
V05-59.5	Sub-variante 03	1.248	1.170	-6.3	0.794	0.725	-8.7	0.650	0.596	-9.8	0.575	0.514	-10.6
V05-71.6	Sub-variante 04	1.500	1.406	-6.3	0.956	0.872	-8.8	0.783	0.706	-9.8	0.692	0.619	-10.5
V05-80.5	Sub-variante 05	1.688	1.583	-6.2	1.075	0.981	-8.7	0.879	0.793	-9.8	0.778	0.696	-10.5
V05-90.0	Sub-variante 06	1.881	1.763	-6.3	1.200	1.095	-8.8	0.983	0.886	-9.9	0.870	0.778	-10.6
V10-42.7	Sub-variante 07	1.762	1.582	-10.2	1.136	0.971	-14.5	0.931	0.775	-16.8	0.823	0.672	-18.3
V10-51.7	Sub-variante 08	2.122	1.904	-10.3	1.372	1.171	-14.7	1.126	0.937	-16.8	0.996	0.812	-18.5
V10-59.5	Sub-variante 09	2.440	2.189	-10.3	1.578	1.348	-14.6	1.296	1.078	-16.8	1.146	0.935	-18.4
V10-71.6	Sub-variante 10	2.928	2.625	-10.3	1.898	1.621	-14.6	1.559	1.298	-16.7	1.380	1.126	-18.4
V10-80.5	Sub-variante 11	3.300	2.960	-10.3	2.135	1.823	-14.6	1.753	1.459	-16.8	1.551	1.265	-18.4
V10-90.0	Sub-variante 12	3.668	3.288	-10.4	2.382	2.034	-14.6	1.958	1.630	-16.8	1.734	1.415	-18.4
V15-42.7	Sub-variante 13	2.503	2.375	-5.1	1.617	1.490	-7.9	1.321	1.195	-9.5	1.163	1.032	-11.3
V15-51.7	Sub-variante 14	3.009	2.853	-5.2	1.952	1.797	-7.9	1.597	1.443	-9.6	1.406	1.247	-11.3
V15-59.5	Sub-variante 15	3.459	3.279	-5.2	2.245	2.067	-7.9	1.837	1.661	-9.6	1.609	1.436	-10.8
V15-71.6	Sub-variante 16	4.146	3.926	-5.3	2.699	2.484	-8.0	2.211	1.999	-9.6	1.950	1.729	-11.3
V15-80.5	Sub-variante 17	4.467	4.432	-0.8	3.307	2.796	-15.5	2.486	2.248	-9.6	2.190	1.943	-11.3
V15-90.0	Sub-variante 18	5.187	4.910	-5.3	3.387	3.116	-8.0	2.778	2.510	-9.6	2.450	2.173	-11.3
V20-42.7	Sub-variante 19	3.492	3.354	-4.0	2.304	2.198	-4.6	1.925	1.795	-6.8	1.715	1.557	-9.2
V20-51.7	Sub-variante 20	4.193	4.027	-4.0	2.779	2.651	-4.6	2.326	2.168	-6.8	2.074	1.883	-9.2
V20-59.5	Sub-variante 21	4.817	4.626	-4.0	3.197	3.049	-4.6	2.677	2.495	-6.8	2.388	2.168	-9.2
V20-71.6	Sub-variante 22	5.766	5.536	-4.0	3.842	3.663	-4.7	3.221	3.002	-6.8	2.875	2.611	-9.2
V20-80.5	Sub-variante 23	6.515	6.253	-4.0	4.325	4.124	-4.6	3.622	3.375	-6.8	3.230	2.933	-9.2
V20-90.0	Sub-variante 24	7.210	6.919	-4.0	4.819	4.593	-4.7	4.045	3.768	-6.8	3.612	3.280	-9.2
Promedio				-6.3 %			-9.3 %			-10.8 %			-12.3 %

Tabla 04

Muestra comparativa entre habitaciones con las mismas medidas laterales, pero con diferente ubicación de las aberturas. La tabla compara en cuánto varía el Factor de Luz Diurna si la abertura tipo ventana se localiza o en la cara lateral más larga (habitaciones de proporción 2:1 o 1.5:1) o en la cara más corta (1:2 o 1:1.5). Adicionalmente, se compara en cada caso, cuanto aún más varía cada escenario cambia de Factor de Reflectancia a las paredes, piso y techo. **El escenario base es aquel con Factor de Reflectancia base de 0.8 (superficies color blanco)**. Se compara este escenario base con nuevos escenarios con superficies interiores de tonalidades cada vez menos claras, con **Factor de Reflectancia de 0.6, de 0.4 y de 0.05**, éste último equivale a un espacio con paredes, pisos y techos pintados de color negro, pero siempre con aberturas exteriores en todos los casos.

3.3 Conclusiones

A partir del análisis de la Tabla final de resultados en el **Anexo 02 - Simulaciones**, se muestran varias conclusiones sobre el comportamiento de la luz diurna en un espacio interior:

Es importante considerar que si el tamaño del vano y/o el Factor de Transmisión Luminosa (TL) de los cristales son alterados, el Factor de Luz Diurna promedio en dicho espacio crecerá o decrecerá proporcionalmente, afectando el desempeño lumínico interior en la misma magnitud. (Ver Tabla 02 y Tabla 03). En términos constructivos, esto se traduce en que un vano no necesariamente precisa en aumentar su tamaño translúcido para incrementar su desempeño lumínico, ya que, alternativamente puede emplear otro tipo de vidrio con mayor Factor de Transmisión Luminosa. Por ejemplo, la Tabla 03 muestra que, si este valor se duplica, el Factor de Luz Diurna promedio también lo hará. Alternativamente, la Tabla 02 muestra que, si se opta por no cambiar el tipo de cristal y aumentar más bien el tamaño de vano, la magnitud de cambio será el mismo.

Por otro lado, la Tabla 04 deja en evidencia que el Factor de Luz Diurna promedio será mayor cuando la abertura se localice en la cara más larga de la habitación y centrada en su respectivo muro. Mientras más alejado esté el vano translúcido del eje vertical del muro, ocasionará que una mayor superficie de piso al interior quede en penumbra - asemejando su comportamiento lumínico al escenario con la cara más corta- y disminuyendo el valor de iluminación interior con luz natural. Localizar ese mismo vano solamente en la cara más corta, aumentará aún más la superficie de piso interno sin alcanzar iluminación entrante y reducirá el Factor de Luz Diurna. En esta última tabla, donde se compara el desempeño lumínico en ambas caras laterales, se muestran los porcentajes en que este valor lumínico en la cara más larga se reduce respecto a la cara lateral más corta, por lo que se recomienda localizar el/los vano (s) centrados en la cara más extensa o equitativamente distribuidos en ese frente cuando sean varios.

Si es que inevitablemente el vano se localiza en la cara más corta sin posibilidad de complementar con una nueva abertura en otra cara, es recomendable que el Factor de Luz Diurna promedio obtenido se incremente en un **25% extra** sobre el valor mínimo exigido en el **Anexo 01 – Estándar: Factor de luz diurna promedio mínimo recomendable por ambiente**, según el uso de dicho espacio; siempre y la abertura en la cara más corta será aceptable cuando la proporción máxima de las caras laterales de la habitación sea **hasta de 1:2**.

Se ha determinado que el Factor de Luz Diurna promedio aumente en un 25% debido a que en las habitaciones de 1:2, que son aquellas que presentan aberturas en la cara corta y en el escenario típico extremadamente negativo (con Factor de Reflectancia de 0.4), el valor lumínico decrece en promedio 19.7% (ver Tabla 04), por tanto, para compensar este valor perdido respecto a su contraparte con abertura en la cara larga (2:1) y, además, ganar mayor acceso de luz dada la ubicación desventajosa del vano, se exige que el Factor de Luz Diurna promedio aumente de 19.7% a 25% el como compensación. El escenario de Factor de Reflectancia de 0.05 equivale a tener las paredes techo y piso de color negro, lo cual no representa un diseño común y por ende sus valores no se han considerado para la estimación este porcentaje.

Finalmente, si el Factor de Reflectancia de las superficies interiores del ambiente varía, entre paredes, pisos y techo, la alteración de la iluminación natural al interior también cambiará, dependiendo de la superficie de cada acabado interior. En ese caso, se debe obtener un promedio de Factor de Reflectancia entre todas las superficies internas. Si este valor fuese insuficiente para alcanzar el Factor de Luz Diurna promedio mínimo requerido en el Anexo 01, se puede optar por incrementar dicho valor en los acabados de menor tonalidad de color, mediante el uso de acabados interiores visualmente más claros, de manera que contribuya a alcanzar un mayor aprovechamiento de la luz natural entrante.

4. Información necesaria para calcular el Factor de Luz Diurna

El propósito de este manual de cálculo es determinar el desempeño luz natural en determinados ambientes interiores que requieren de actividad visual de precisión, a fin de crear espacios independientes de luz artificial durante una mayor cantidad de horas al día. Según lo sustentado en el sub-capítulo 2.1, el Factor de Luz Diurna promedio será el coeficiente empleado para esta medición.

Este valor debe ser calculado y sustentado por el proyectista en la presentación del expediente técnico en los ambientes requeridos.

El revisor, al recibir el expediente técnico del proyecto, deberá verificar que toda la información técnica que utilizó el proyectista en su cálculo haya sido correctamente efectuada y se cuenten con datos fehacientes respecto a los materiales y metrados de superficies, principalmente.

Para realizar este cálculo, se requiere información técnica sobre propiedades de los acabados, entre materiales, pinturas, enchapes, cristales y otros elementos utilizados, disponible principalmente en las fichas técnicas de cada producto.

Por ende, el propósito de este capítulo es conocer los componentes de cálculo y herramientas que se requieren en la presentación de anteproyecto y proyecto, que permitan determinar y comprobar el Factor de Luz Diurna promedio en los ambientes evaluados. Asimismo, se indica el rol de proyectista y revisor en cada pieza de información.

4.1 Factor de Reflectancia de los acabados

Se requerirá en el expediente técnico presentado indicar los acabados del espacio evaluado en paredes piso y techo, incluyendo vidrios en vanos **deben estar consignados en plantas, cortes, elevaciones y detalles del ambiente.**

Si se trata de varios tipos de acabados en colores y/o texturas, se obtendrá el promedio ponderado del Factor de Reflectancia de cada material/color usado en proporción a la cantidad de superficie en ese ambiente. En tal sentido se necesitará medir cada color / acabado de superficie interior.

Este promedio debe sustentarse.

El proyectista, salvo que las especificaciones técnicas de las pinturas, enchapes u otros productos usados lo indiquen, debe tomar estos valores de la tabla de Factor de Reflectancia. (Ver entregable Factor de Reflectancia de Superficies)

El revisor, debe comprobar que el Factor de Reflectancia sustentado por el proyectista sea correcto en el cálculo.

4.2 Factor de Transmisión Luminosa de los vidrios en vanos

Deben consignarse en los planos y/o memoria descriptiva.

El proyectista obtiene esta información de la ficha técnica del vidrio, proporcionada por el proveedor.

El revisor deberá corroborar este valor en el cálculo presentado.

4.3 Tamaño de abertura: Superficie de área traslúcida de la ventana

El área traslúcida en paredes y techos por encima de 0.85m (vanos) en los ambientes evaluados.

El proyectista debe medir la superficie traslúcida y preferentemente adjuntar en la entrega los planos a escala acotando el área traslúcida de cada vano sin contar el marco. En caso se tenga área traslúcida por debajo de esa altura, se considerará como muro pintado color blanco (para Factor de Reflectancia) en el cálculo.

El revisor deberá verificar que el cálculo no considere como superficies traslúcidas por debajo de esa altura y, asimismo, cerciorarse que las perfilerías en los vanos no se incluyan en los cálculos como parte de la superficie traslúcida.

4.4 Los volúmenes en el entorno externo: Ángulo de luz visible al exterior

Son aquellas volumetrías próximas que puedan obstruir la llegada de luz natural a las aberturas del espacio diseñado: edificaciones vecinas, vegetación u otros elementos en el entorno urbano con un volumen considerable para obstruir parcial o totalmente el ingreso de luz. En el caso de elementos muy esbeltos como postes u otros similares no será necesario ser tomado en cuenta, siempre y cuando esto se demuestre mediante fotografías del lugar. Estos elementos deben estar consignados en el plano de ubicación y/o Plot plan, fotografías, registros en Google Earth, entre otros, y, complementarse con cortes parciales, tomando como referencia la altura de la obstrucción (o las dos obstrucciones) que más se interpone frente a la abertura, indicando su altura y el ángulo de luz visible al exterior, es decir, el ángulo medido desde punto medio de la abertura (ventana) hasta el zenit o la primera obstrucción en el extremo opuesto, dicho ángulo no debe tener elementos que se interpongan en el ingreso de luz. Si el ángulo es tomado desde una mampara (superficie vidriada de piso a techo sin parapeto), se descontarán 0.85m en la parte baja y el punto medio del ángulo se medirá a partir de la altura restante.

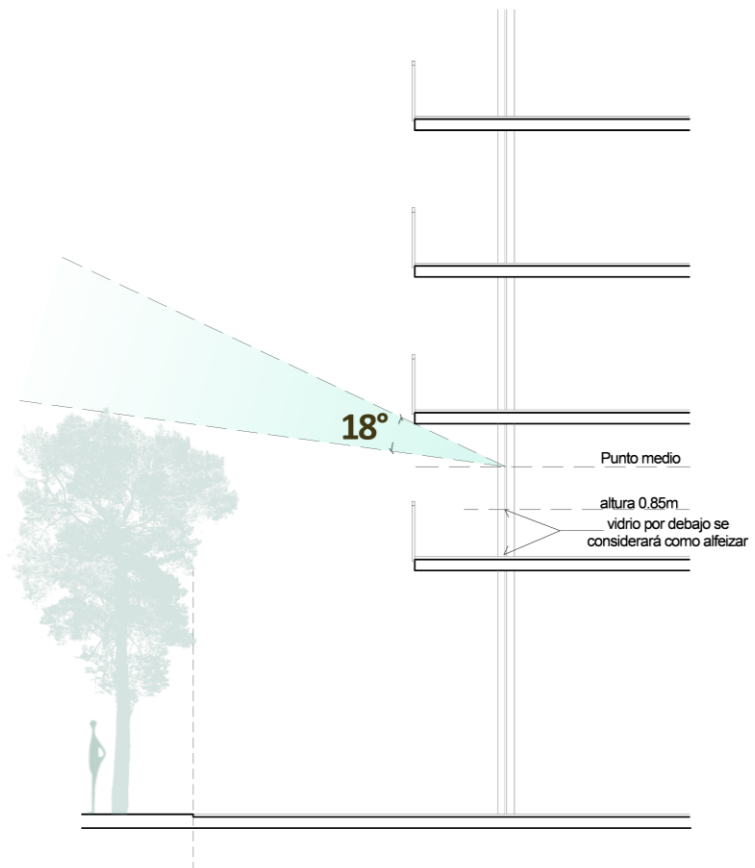


Imagen 14a
Angulo de luz visible exterior.
Esquema típico
Imagen por El Autor.

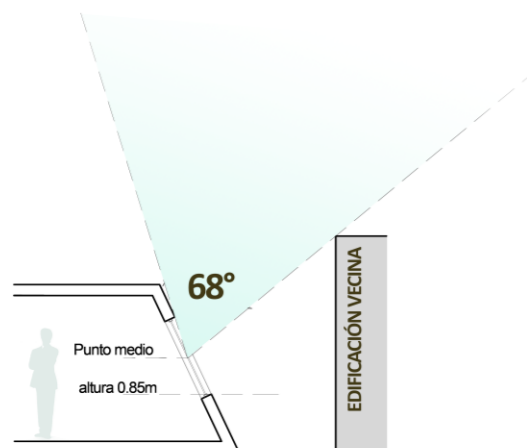


Imagen 14b
Angulo de luz visible exterior.
Caso atípico.
Imagen: Dr. Paul Littlefair – Carbon Trust.
Adaptada por El Autor.

4.5 Tipo de uso del espacio interior

Los planos de anteproyecto y proyecto indican esta información esencial.

El revisor debe verificar la veracidad del uso de cada espacio y, asimismo, comprobar cuál es el valor de Factor de Luz Diurna le que corresponde normativamente en el estándar mínimo, según indica el **Anexo 01 – Estándar: Factor de luz diurna promedio mínimo recomendable por ambiente.**

4.6 Proporción de dimensiones laterales

Hace referencia a la proporción de medidas de las caras laterales vistas en planta, cuidando que el espacio tenga una forma regular según el análisis de espacios analizados en el capítulo 3. Si este presenta formas más complejas que comprometan el ingreso de luz diurna, queda a criterio del revisor solicitar una simulación mediante empleo de software especializado para comprobar que se cumpla el Factor de Luz Diurna requerido.

4.7 Estándar mínimo recomendable de Factor de Luz Diurna

Se trata de la tabla de valores mínimos requeridos de Factor de Luz Diurna, en el **Anexo 01**. Sobre este material se contrastarán los resultados de cada espacio evaluado a fin de verificar si este cumple con el valor mínimo requerido.

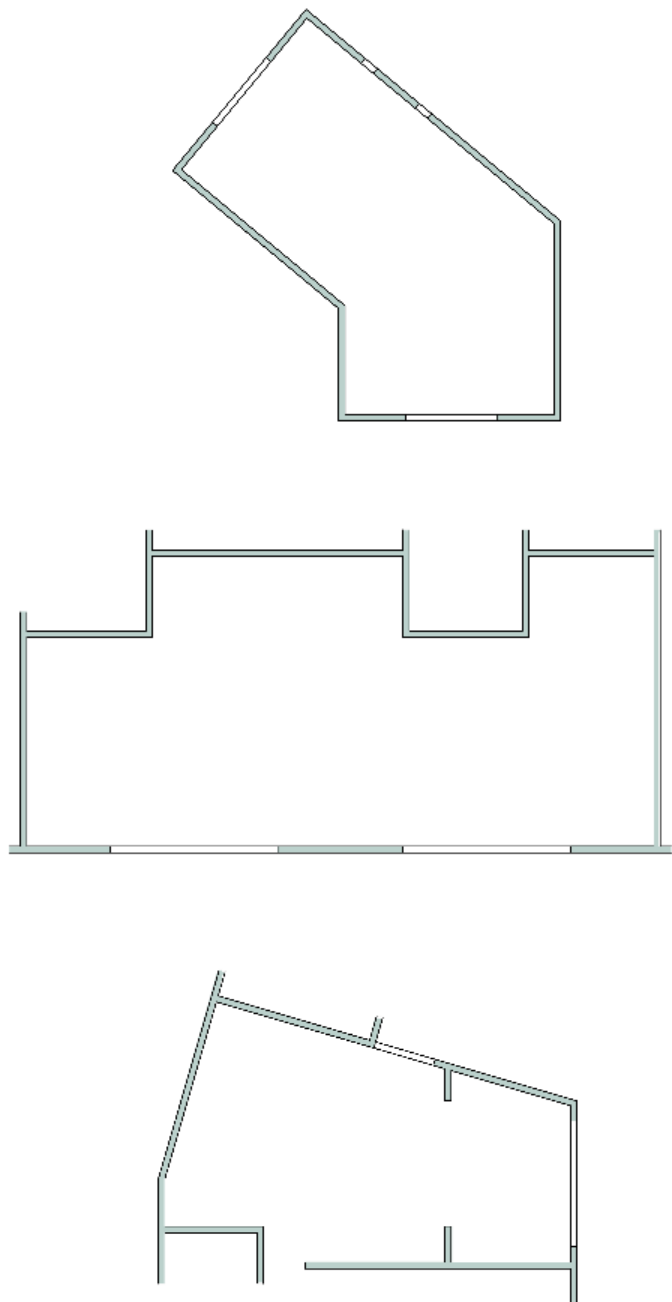


Imagen 15
Vistas en planta con
proporciones irregulares
con escaso acceso de luz.
Imagen por El Autor.

5. Procedimiento de cálculo del Factor de Luz Diurna

En este capítulo se presentará el procedimiento para el cálculo de Factor de Luz Diurna promedio en los ambientes diseñados, por lo que se subdivide en dos etapas:

- Determinar y explicar la ecuación a emplear por el proyectista para calcular el Factor de Luz Diurna promedio en el proyecto y para el revisor corroborar este valor lumínico.
- Indicar las consideraciones que se deben seguir en el diseño de los ambientes del proyecto a fin de ser aplicables para este procedimiento de cálculo.

5.1 Procedimiento de cálculo

Existen diversas ecuaciones orientadas al cálculo de iluminación natural interior, muchas de ellas desarrolladas y aplicadas en entidades internacionales como la Universidad de Bath, The Carbon Trust o el Código Nacional de Construcción del Gobierno de Australia.

Para el presente cálculo, será considerada ecuación mostrada líneas abajo, dado a que toma en cuenta diversos componentes constructivos y acabados interiores, por lo que resulta precisa para evaluar los materiales, área y tamaño de abertura empleadas. El resultado permitirá obtener un valor promedio de Factor de Luz Diurna en el ambiente evaluado:

$$\text{Factor de Luz Diurna Promedio} = \frac{W}{A} \frac{T \theta}{(1 - R^2)}$$

W= Área traslúcida de la ventana. No se debe considerar elementos opacos como perfilerías u otros accesorios.

T= Factor de Transmisión Luminosa del cristal de la (s) abertura (s). Puede ser considerado además como porcentaje.

θ= Ángulo de luz visible al exterior, del punto medio de la ventana respecto al zenit, sin obstrucción de volúmenes externos.

A= Área de todas las superficies internas, paredes, pisos y cobertura.

R= Factor de Reflectancia ponderado en las superficies internas, paredes, pisos y cobertura.

5.2 Consideraciones de evaluación

La habitación debe encontrarse en el listado del Anexo 01, y asimismo debe evitar formas en planta irregulares (ver subcapítulo 4.7). En lo posible, sus medidas laterales no deben exceder las proporciones 2:1 (o 1:2). Si el espacio evaluado presenta forma en planta más compleja con escaso acceso de luz natural exterior, quedará a criterio del revisor el solicitar al proyectista que demuestre que este ambiente cumpla con el Factor de Luz Diurna promedio mínimo requerido mediante una simulación en software u otro medio confiable.

La abertura o vano debe estar preferencialmente instalada en la cara lateral más larga del espacio. En caso esté colocada solamente en la cara más corta y no haya posibilidad de generar otra abertura adicional en algún otro lado del ambiente, se requerirá el Factor de Luz Diurna promedio sea 25% mayor al valor mínimo exigido a ese ambiente en el Anexo 01, a fin de compensar la falta de luz de día el extremo opuesto a la abertura en el ambiente interior. (Ver sub-capítulo 3.3)

Según el análisis de comportamiento lumínico por simulación, subcapítulo 3.3 *Conclusiones*, si el Factor de Luz Diurna (DF) en el espacio es insuficiente, se puede optar por crecer o decrecer tamaño del vano y/o el Factor de Transmisión Luminosa (TL) del cristal, y, a consecuencia, el valor de iluminación también crecerá o decrecerá proporcionalmente según dicho cambio.

Considerar únicamente área translúcida de la abertura que esté por encima de 0.85m de alto respecto al nivel de piso interior al que sirve, siendo esta medida una altura para el área trabajo promedio. De existir superficie translúcida por debajo de esa altura, esta no será tomada en cuenta en la ecuación de cálculo y se tomará como parapeto de muro ciego (sub-capítulo 4.3).

6. Anexión del procedimiento de cálculo al Código Técnico de Construcción Sostenible

La versión actual del código técnico de Construcción Sostenible (2021) aborda el tema de la iluminación Natural en el subcapítulo II, artículo 7, indicando lo siguiente:

“Artículo 7.- Vanos

En toda edificación se debe priorizar el ingreso de iluminación natural. Las dimensiones mínimas del vano del ambiente habitable se determinan de acuerdo con las normas vigentes de cada sector.”

Cálculo de iluminación natural en edificaciones

A partir de este único artículo, es notorio que los requerimientos son muy difusos y no expresan cifras concretas que permitan un dimensionamiento adecuado de vanos frente a la luz de día entrante.

Adicionalmente, la versión actual de la *Norma A.010 Condiciones Generales de Diseño* y *A.040 Educación* establecen que debe asegurarse la iluminación natural necesaria en el ambiente y ésta debe distribuirse uniformemente en la superficie de trabajo, respectivamente, aun así, no presentan ningún parámetro que permita cuantificar la cantidad de luz ideal dentro del espacio interior.

Por otro lado, las Normas EM.110 y EM.010 sí establecen una cantidad de iluminación expresada en luxes mínimas por ambiente, no obstante, según lo mencionado en el capítulo 2.1, esta unidad de medida expresa una iluminación constante y, por ende, más apta para medir iluminación artificial, mientras que, la luz de día al no ser constante y variar frecuentemente, es la más adecuada para ser expresada mediante el Factor de Luz Diurna.

En tal sentido, es necesario incorporar la fórmula de cálculo de iluminación natural en el subcapítulo II, artículo 7 del CTCS de la siguiente manera:

“Artículo 7.- Vanos

En toda edificación se debe orientarse a maximizar aprovechamiento de la iluminación natural en los espacios interiores. El tipo de vidrio y/o tamaño de vanos hacia el exterior en un determinado ambiente debe garantizar el suficiente ingreso de luz de día a su interior, a fin que se alcance el valor de Factor de Luz Diurna promedio mínimo según el tipo de uso que corresponda al espacio interior. Basándose en las características físicas del espacio interior evaluado, se calculará mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Factor de Luz Diurna Promedio} = \frac{W}{A} \frac{T \theta}{(1 - R^2)}$$

W= Área traslúcida de la ventana. No se debe considerar elementos opacos como perfilerías u otros accesorios no traslúcidos.

T= Factor de Transmisión Luminosa del cristal de la (s) abertura (s). Puede ser considerado además como porcentaje.

θ= Ángulo de luz visible al exterior, del punto medio de la ventana respecto al zenit, sin obstrucción de volúmenes externos.

A= Área de todas las superficies internas, paredes, pisos y cobertura, incluso el Área Translúcida de ventana (**W**)

R= Factor de Reflectancia ponderado en las superficies internas, paredes, pisos y cobertura.

Si el Factor de Luz Diurna promedio alcanzado en el espacio es insuficiente al indicado en los valores mínimos recomendados, se puede optar por incrementar tamaño del vano y/o el Factor de Transmisión Luminosa (TL) del cristal, y, a consecuencia, el Factor de Luz Diurna también aumentará en la misma proporción a dicho cambio. De darse este caso, ese nuevo valor debe ser sustentado igualmente con la ecuación indicada. Adicionalmente, se puede incrementar el Factor de Reflectancia en los colores de las superficies interiores (paredes, piso y techo) del ambiente evaluado y de la misma manera, sustentar dicha modificación en la ecuación de Factor de Luz Diurna.

Este cálculo será aplicable en un espacio bajo las siguientes condiciones:

- *El espacio evaluado debe estar considerado en listado de ambientes en el Estándar de valores mínimos requeridos, en el **Anexo 01**.*
- *La forma en planta de la habitación debe ser regular. Las medidas laterales de dicho ambiente no deben exceder las proporciones 2:1 (o 1:2).*
- *Si el espacio evaluado presenta una forma en planta o tridimensional más compleja y/o irregular, se solicitará demostrar por otros medios que éste cumple con el Factor de Luz Diurna promedio mínimo requerido. Quedará bajo criterio del revisor encargado solicitar simulación en software solo en casos atípicos u otro tipo de sustento.*

- *Las aberturas o vanos deben estar equitativamente distribuidas en la cara lateral más larga del espacio. Sin embargo, en un caso excepcional, puede tolerar que la abertura de acceso de luz exterior se ubique en la cara más corta siempre y cuando la proporción máxima de las caras laterales sea de hasta 2:1 (o 1:2), y que el factor de luz diurna promedio alcanzado en el cálculo sea 25% mayor al mínimo requerido para su uso (según el Anexo 01). En un espacio con mayor longitud de cara lateral y en un espacio de uso educativo (Anexo 01), las aberturas necesariamente deberán localizarse equitativamente distribuidas en la cara lateral más larga y de ser el caso, también complementarse con vanos en la cara más corta.*
- *Considerar únicamente como área translúcida de la abertura (W) aquella que esté por encima de 0.85m de alto respecto al nivel de piso interior al que sirve, siendo esta medida una altura típica para el área trabajo promedio. De existir superficie traslúcida por debajo de esa medida, esta no será tomada en cuenta en la ecuación de cálculo y se considerará como parapeto de muro ciego.*
- *Considerar solamente las aberturas (W = Área traslúcida de la ventana) que estén orientadas hacia el exterior con o sin aleros y/o parasoles. Aquellos vanos orientados hacia otro espacio interior techado u otro tipo de cobertura total no serán tomados en cuenta como fuente de ingreso de luz natural en el presente cálculo.*

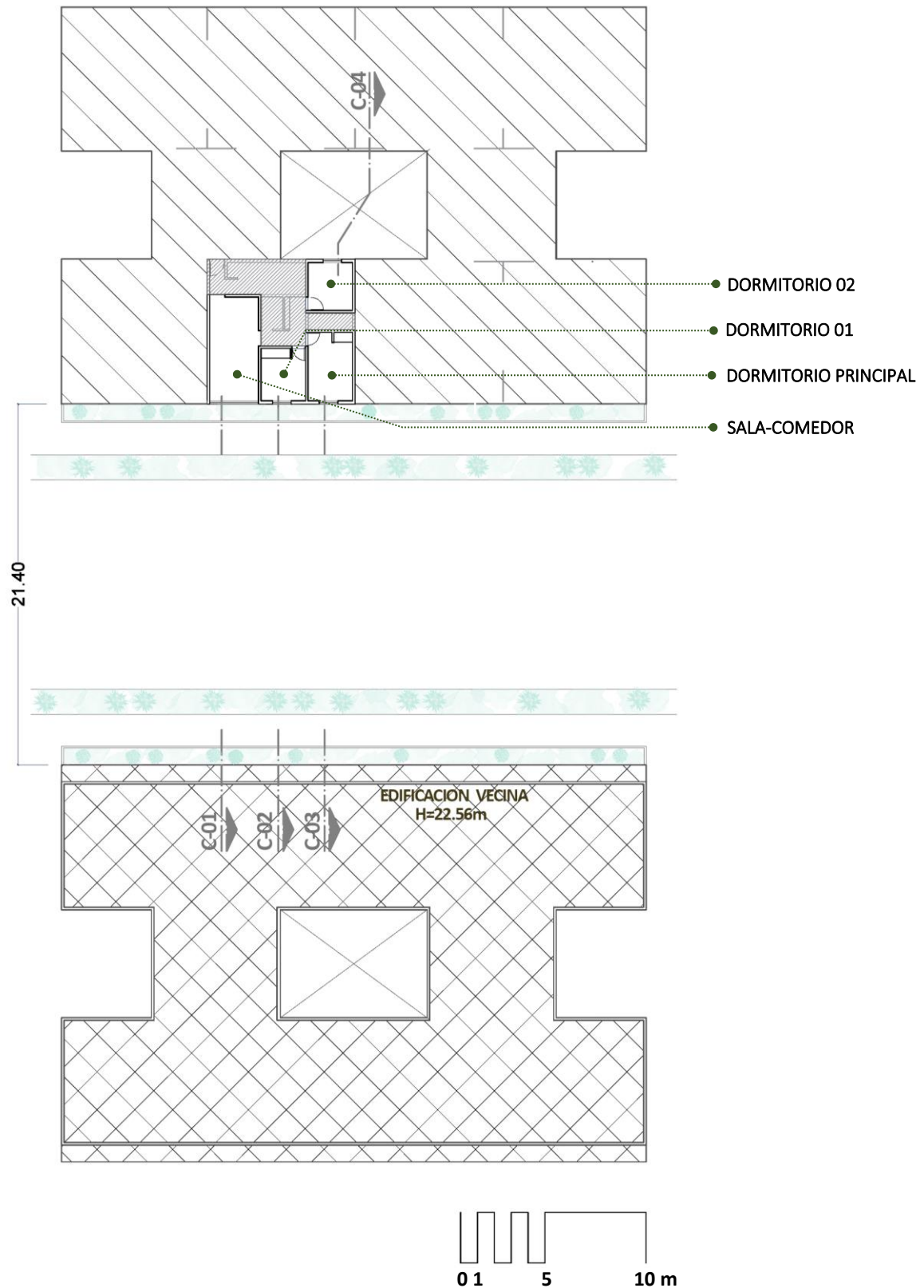
7. Ejemplos de cálculo desarrollado

Tras haber indicado la información necesaria para el cálculo del Factor de Luz Diurna promedio en el capítulo 4 y detallado el procedimiento de la ecuación en el capítulo 5, en esta sección se presentarán casos de estudio aplicando los procedimientos mencionados en los capítulos anteriores:

- Se analizará la información presente en los planos.
- Se identificarán los componentes de cálculo.
- Se determinará el factor de luz diurna promedio alcanzado.
- En caso no alcanzar el valor mínimo requerido, se plantearán posibles soluciones de diseño.

7.1 Caso 1

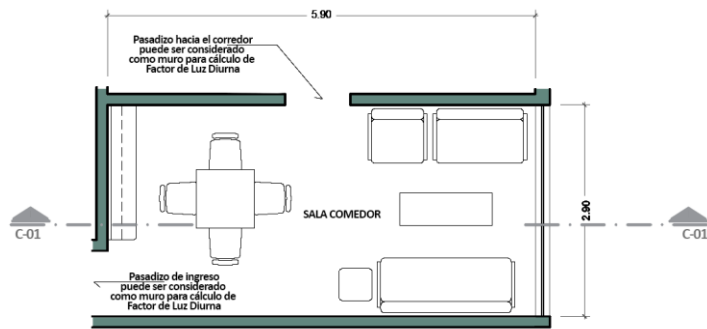
En una torre de vivienda de 08 pisos + azotea, la cual está **rodeada de otros edificios de similar altura**, se tiene el siguiente departamento que se desarrolla **en el piso más bajo**. En esta unidad de vivienda, son los tres dormitorios y la sala comedor los cuales presentan aberturas hacia el exterior.



Etapa 1. Identificando los espacios con ventanas al exterior

Los ambientes principales son cuatro: **Sala-comedor**, **Dorm. Principal**, **Dormitorio 01** y **Dormitorio 02**, los cuales se priorizarán para el cálculo de Factor de Luz Diurna. Los servicios Higiénicos y cocina son tomados como espacios de uso temporal no permanente. **Por tanto, se debe hallar los componentes de dicha ecuación.**

PLANTA SALA-COMEDOR

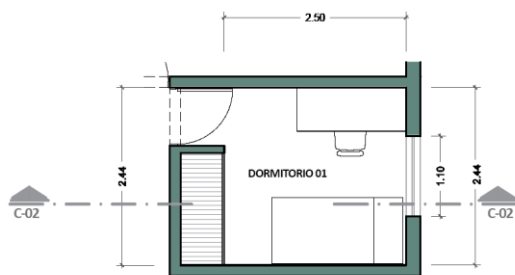


CORTE SALA-COMEDOR

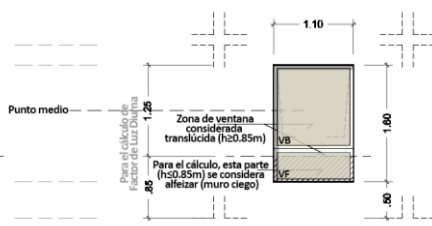
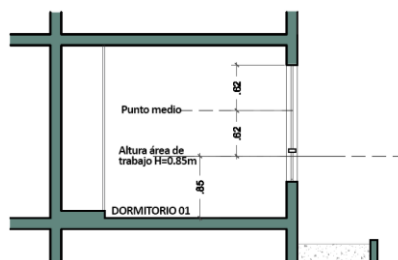


ELEVACIÓN ABERTURA

PLANTA DORMITORIO 01

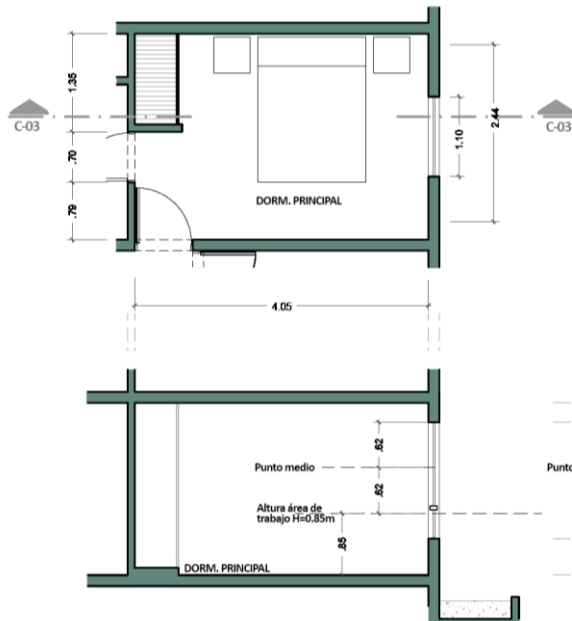


CORTE DORMITORIO 01

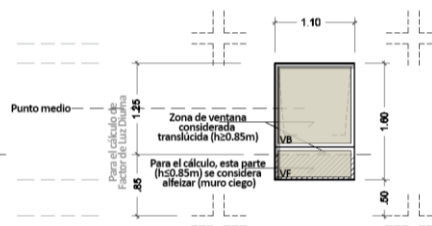
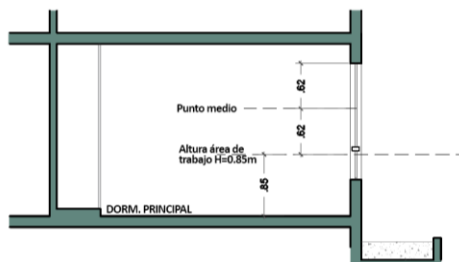


ELEVACIÓN ABERTURA

PLANTA DORMITORIO PRINCIPAL



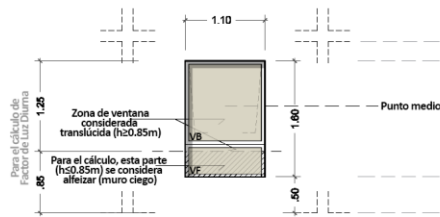
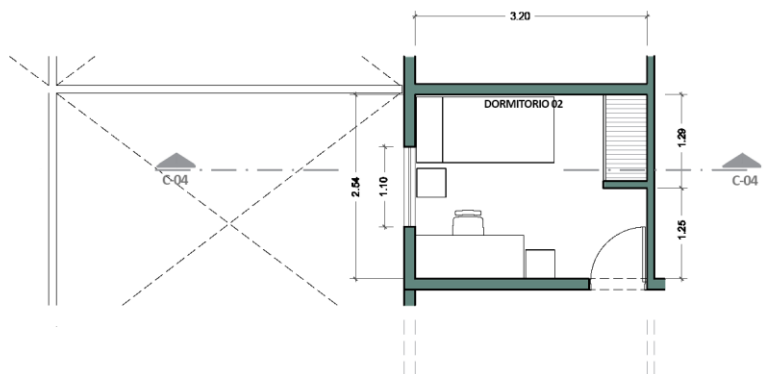
CORTE DORMITORIO PRINCIPAL



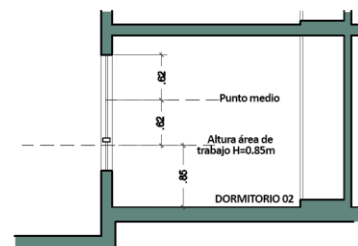
ELEVACIÓN ABERTURA



PLANTA DORMITORIO 02



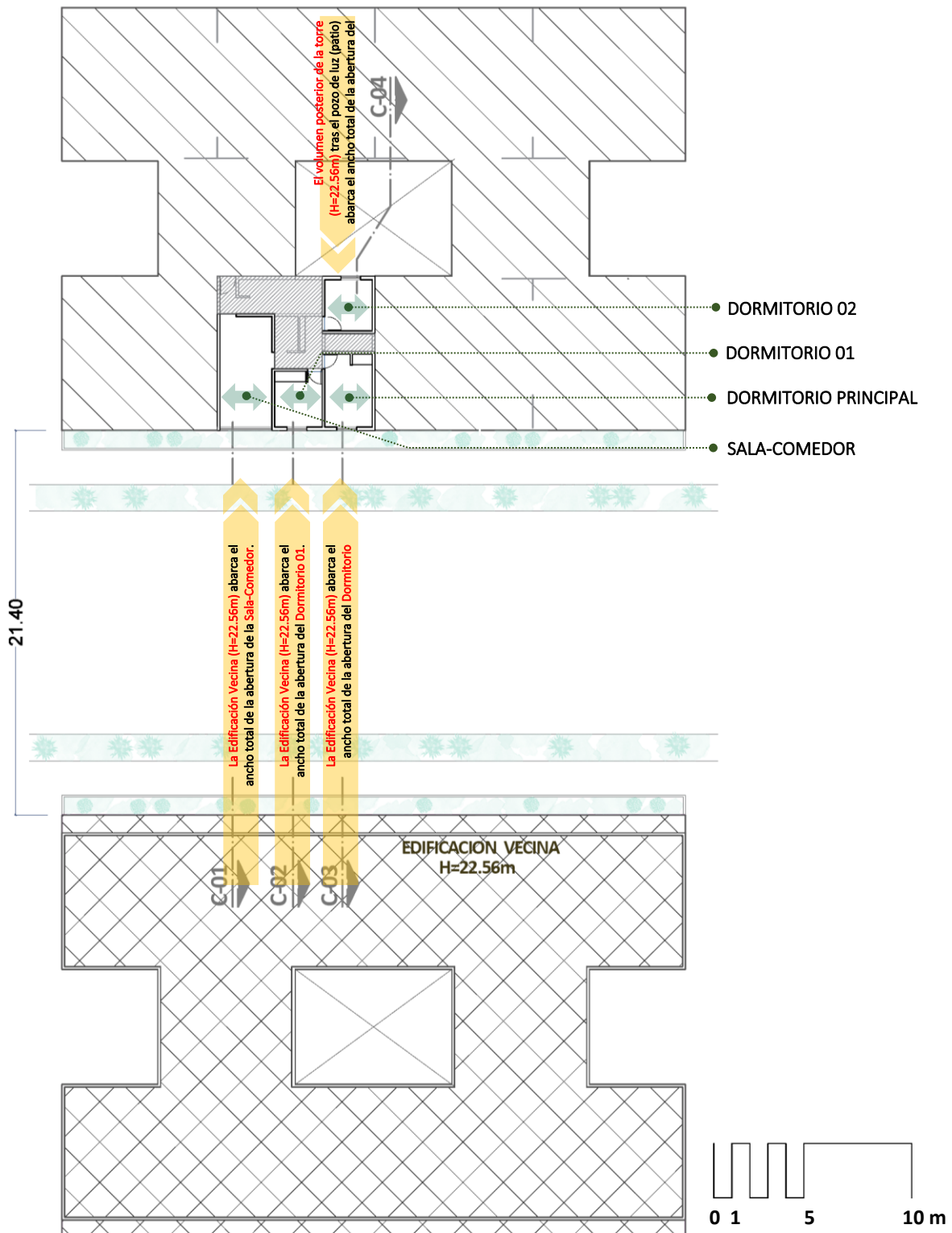
ELEVACIÓN ABERTURA



CORTE DORMITORIO 02

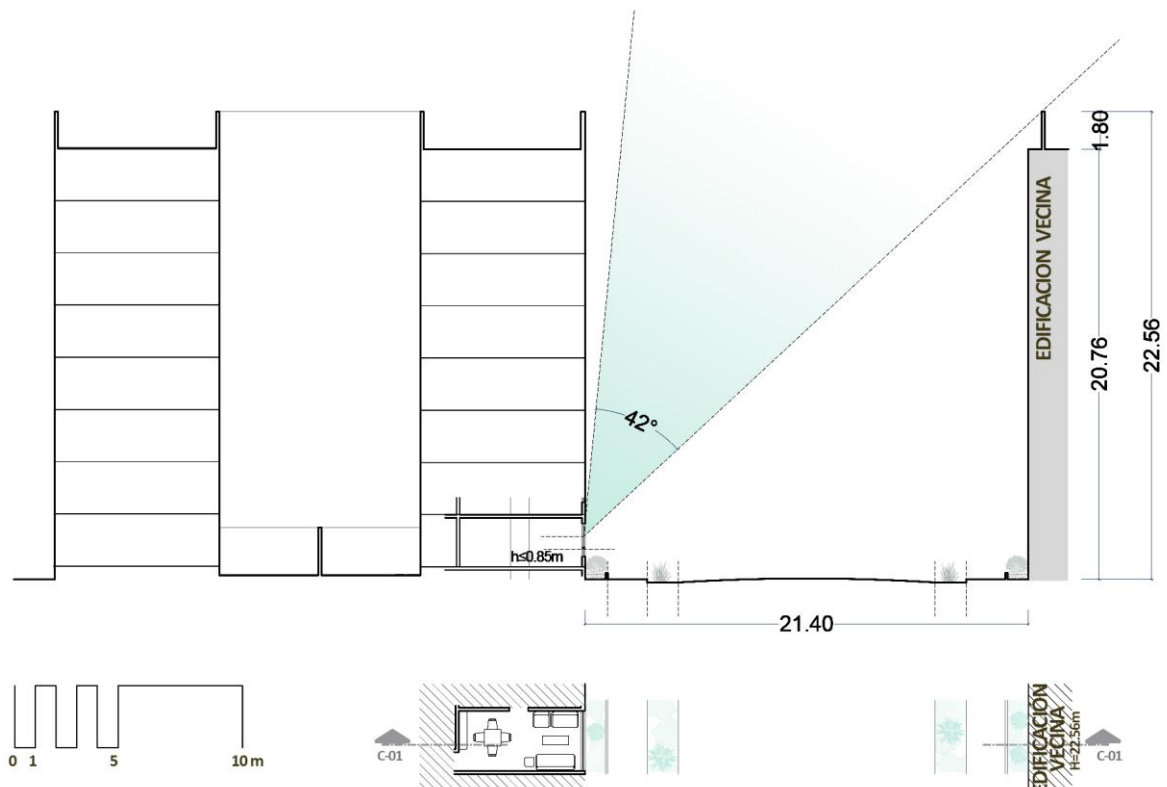
Etapa 2. Identificar los elementos exteriores que bloquean la llegada de luz (ángulo de luz Visible θ)

Para hallar el ángulo de luz visible (θ), el cual es uno de los componentes de la ecuación de factor de luz diurna, se deben identificar los elementos en el entorno urbano bloquean el acceso de luz en cada ambiente interior (**hasta 05 elementos exteriores**, de ser el caso). En este ejemplo, el edificio en la parte frontal del departamento, mientras que, por la parte posterior, en el pozo de luz (patio) el bloque posterior del mismo edificio afecta la llegada de luz al Dormitorio 02.



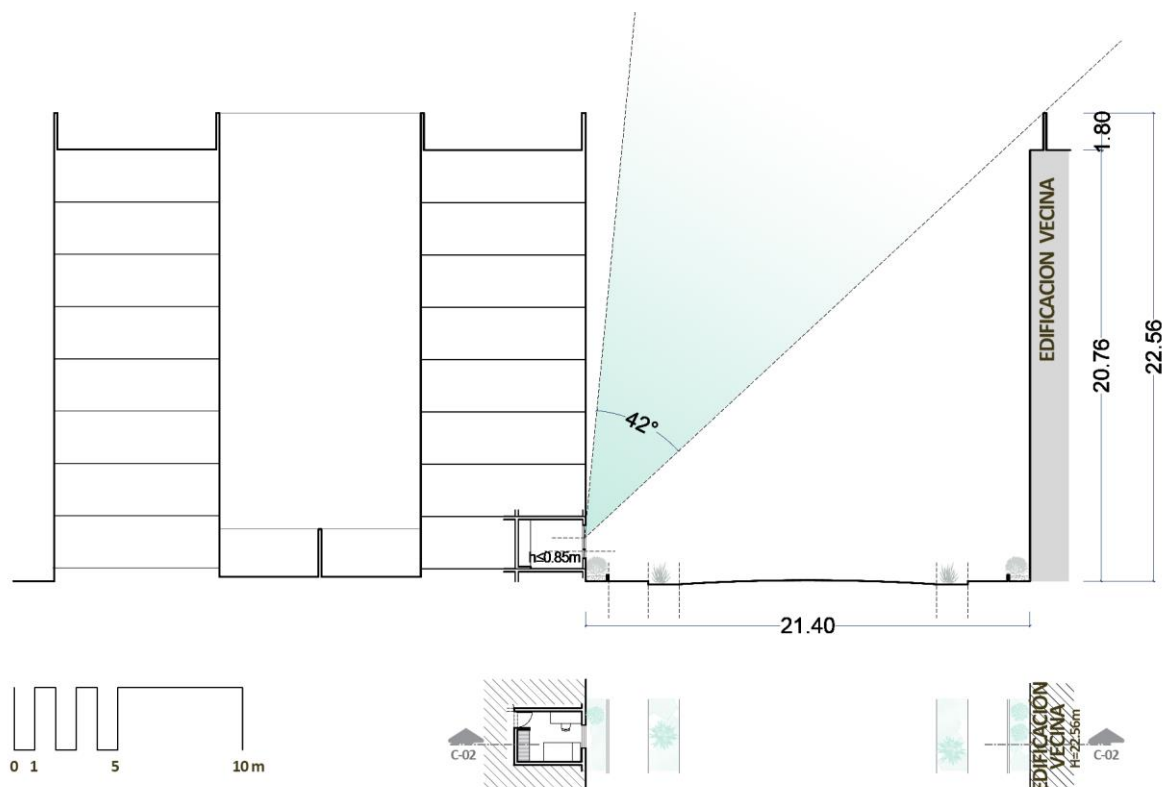
- **Sala-Comedor**

La Edificación Vecina al frente bloquea el total del largo (100%) de la abertura (ventana), formando un **ángulo de luz visible θ de 42°** en ese ambiente, ya que solo la edificación vecina es el único volumen relevante que obstruye el paso de luz solar, por ende, el ángulo obtenido en el C-01 será el utilizado para la ecuación de Factor de Luz Diurna en ese ambiente. **Ver corte C-01.**



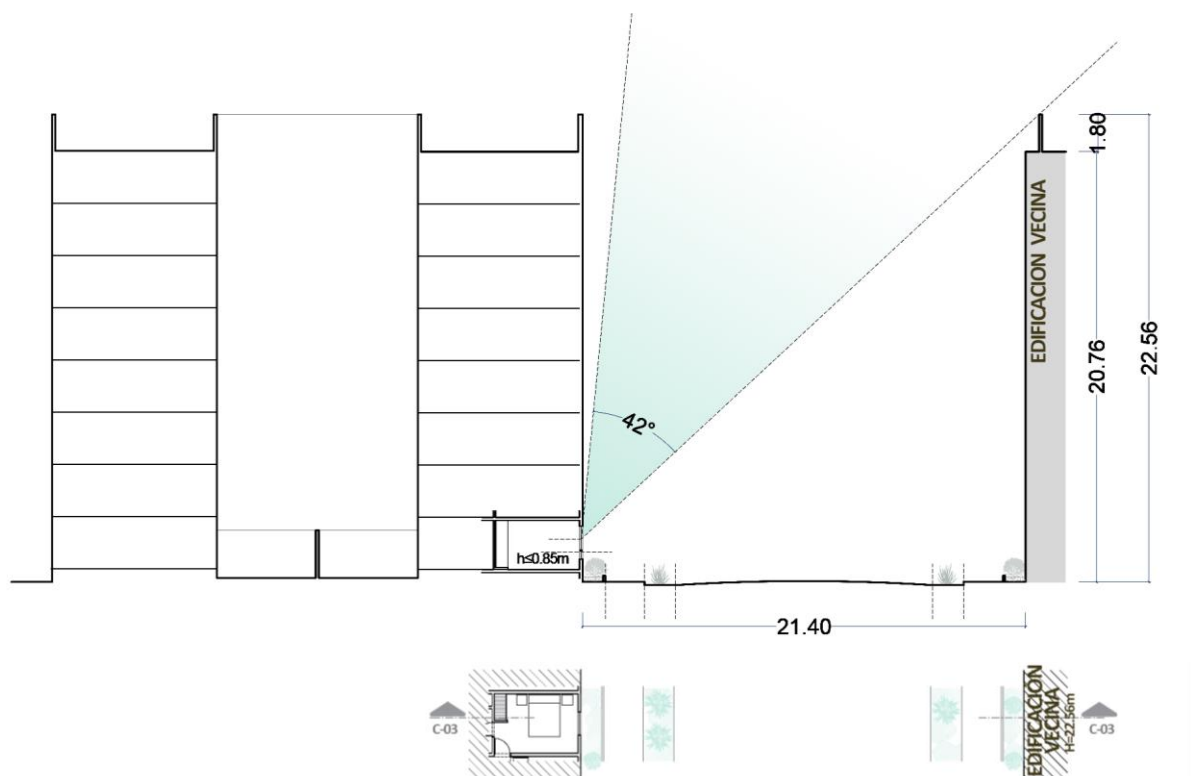
- **Dormitorio 01**

El escenario se repite: la Edificación Vecina al frente bloquea nuevamente el total del largo (100%) de la abertura (ventana), formando un **ángulo de luz visible θ de 42°** en ese ambiente, el cual será usado para la ecuación de Factor de Luz Diurna en ese ambiente. **Ver corte C-02.**



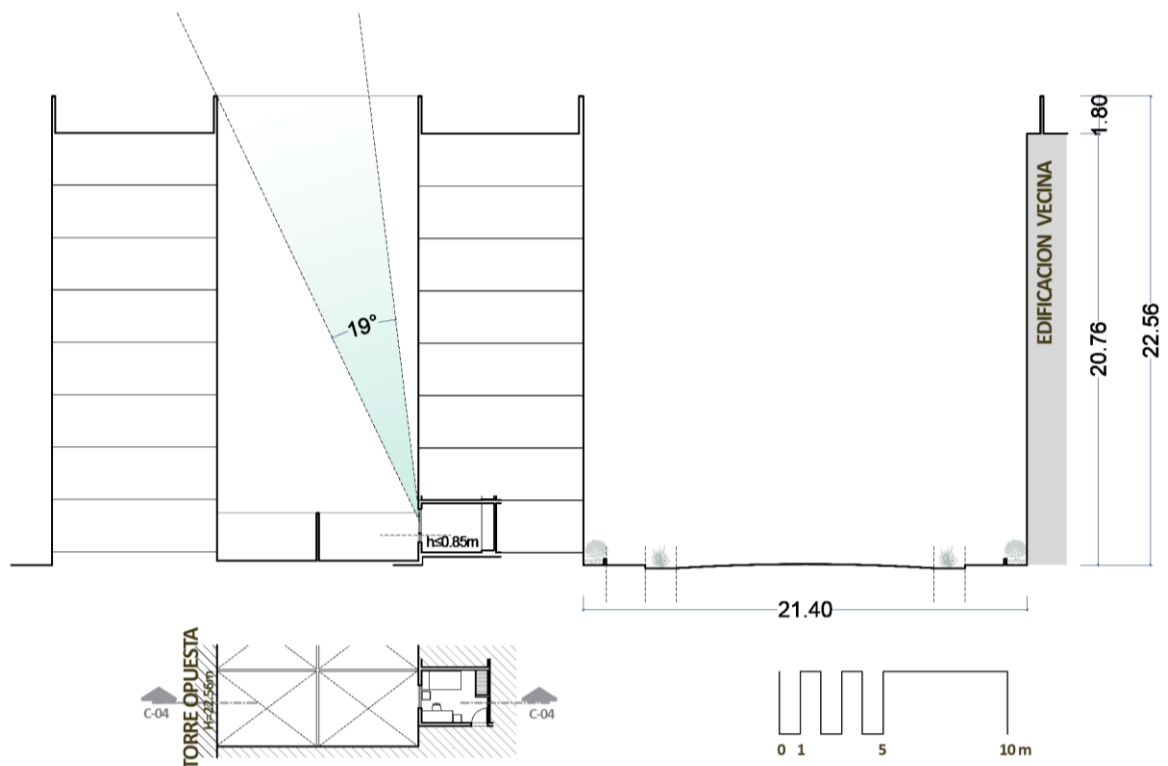
- **Dormitorio Principal**

Al igual que los otros dos ambientes anteriores, el escenario se repite: la Edificación Vecina al frente bloquea igualmente el total del largo (100%) de la abertura (ventana), formando también un **ángulo de luz visible θ de 42°** en ese ambiente, el cual será usado para la ecuación de Factor de Luz Diurna en ese ambiente. **Ver corte C-03.**



- **Dormitorio 02**

El bloque posterior de la torre, tras el pozo de luz, es el único volumen relevante que obstruye el paso de luz solar, por ende, el **ángulo de luz visible θ** obtenido en el **corte C-04 es de 19°** , que será el utilizado para la ecuación de Factor de Luz Diurna en ese ambiente.



Etapa 3. Identificar los elementos restantes de la ecuación de Factor de Luz Diurna en el proyecto (expediente técnico)

Tras haber calculado el ángulo de luz visible en cada ambiente, los capítulos 4 y 5 muestran que la ecuación de cálculo lumínico depende también del Área translúcida de la ventana (W), el Factor de Transmisión Luminosa del vidrio de la abertura **al exterior** (T), el Factor de reflectancia de las superficies internas (R) y el Área de todas las superficies internas (A) para cada espacio evaluado.

- **Área translúcida de la ventana (W)**

El área translúcida de la ventana en sala-comedor y los tres dormitorios será metrada por el proyectista y corroborada por el revisor mediante elevaciones (anteproyecto) o detalle (proyecto). Independientemente de los planos y detalles, la superficie translúcida puede sustentarse en la memoria descriptiva u otro entregable.

No se debe considerar elementos no translúcidos como perfilerías u otros accesorios. Para el presente caso de estudio se asumirá que, tras revisar el metrado de vidrios en la fachada de cada ambiente, se halló la siguiente información:

	Sala-Comedor	Dormitorio Principal	Dormitorio 01	Dormitorio 02
Área fachada vidriada	Ventana de 3.9131m ² , sin embargo, para calculo lumínico, toda área translúcida por debajo de los 0.85m de alto se considerará como parapeto o alfeizar opaco (adicionándose al área de paredes blanca y descontándose del área vidriada de la fachada). Entonces el área final translúcida será de 2.97 m².	Ventana de 1.4112m ² , sin embargo, para calculo lumínico, toda área translúcida por debajo de los 0.85m de alto se considerará como parapeto o alfeizar opaco (adicionándose al área de paredes blanca y descontándose del área vidriada de la fachada). Entonces el área final translúcida será de 1.1012 m².		

Revisando las plantas, elevaciones y cortes se aprecia además que:

- Se considera el metraje de material translúcido sin carpinterías o parasol.
- Las aberturas están distribuidas de manera uniforme a lo largo de una de las caras laterales más extensas.
- Factor de Transmisión Luminosa del vidrio en la ficha técnica de su proveedor.

• **Factor de Transmisión Luminosa del vidrio de la abertura (T)**

Debe figurar en la ficha técnica de los vidrios a emplear. El proyectista deben consignarlo en los planos, elevaciones, detalles o memoria descriptiva. La ficha debe adjuntarse en los entregables.

Para el presente caso de estudio, se asumirá que las aberturas (ventanas) en la fachada tendrán vidrios con **Factor de Transmisión Luminosa de 90% (0.90)**. Por tanto, en el ambiente evaluado, ese será el valor a utilizar en la ecuación de Factor de Luz Diurna.

• **Área de todas las superficies internas (A)**

El metrado de paredes, pisos y techo, considerando además otras superficies significativas como ventanas y puertas. Respecto a la superficie de techo, en caso el ambiente posea cielo raso, se considerará únicamente esa área para el cálculo. En este proyecto se obtuvo las siguientes cifras:

	Sala-Comedor	Dormitorio Principal	Dormitorio 01	Dormitorio 02
Área fachada vidriada	Área de Piso: 17.1098 m ²	Área de Piso: 10.6879 m ²	Área de Piso: 6.70 m ²	Área de Piso: 7.3540 m ²
	Área de Muro*: 37.3039 m ² Muro Blanco	Área de Muro*: 24.8831 m ² Muro Blanco	Área de Muro*: 20.2588 m ² Muro Blanco	Área de Muro*: 21.2139 m ² Muro Blanco
	Área Techo: 17.1098 m ²	Área Techo: 10.6879 m ²	Área Techo: 6.70 m ²	Área Techo: 7.3540 m ²
	Área ventanas**: 2.8336 m ²	Área ventanas**: 1.1012 m ²	Área ventanas**: 1.1012 m ²	Área ventanas**: 1.1012 m ²
	Área Puertas: 1.68 m ² Puerta ingreso a la habitación 1.47 m ² Puerta baño (Ambas puertas contraplacada MDF Pintada color blanco). 2.9625 m ² Puerta clóset (Celosía pino - tonalidad madera clara)	Área Puertas: 1.68 m ² Puerta de ingreso a la habitación (Contraplacada MDF Pintada color blanco). 3.6498 m ² Puerta clóset (Celosía pino - tonalidad madera clara)	Área Puertas: 1.68 m ² Puerta de ingreso a la habitación (Contraplacada MDF Pintada color blanco). 2.8203 m ² Puerta clóset (Celosía pino - tonalidad madera clara)	

* El Área de muro, sí incluye además las superficies translúcidas (vanos u otros) que se encuentren por debajo de 0.85 m de alto.

** El Área de ventanas no considera ni carpintería ni material translúcido por debajo de 0.85m de alto.

Para la ecuación de Factor de Luz Diurna, el valor de **A** será la **suma de todas las superficies mencionadas en el ambiente evaluado**.

• **Factor de reflectancia de las superficies internas (R)**

El proyectista debe consignar el Factor de Reflectancia de los acabados en muros, paredes, techos, puertas u otro elemento interior relevante como puertas y vidrios en vanos. Idealmente, el proveedor de los acabados debe proporcionar el valor para las posibles pinturas, enchapes y acabados usados. El revisor, debe corroborarlo.

De no estar disponible esta cifra por el proveedor, **se tomará de la Tabla desarrollada en entregable Factor de Reflectancia de Superficies.**

	Sala-Comedor	Dormitorio Principal	Dormitorio 01	Dormitorio 02
Acabados muros laterales	- Muros tarrajado y pintado color blanco mate: 0.8 (u 80%) -Puertas Clóset: 0.4 (o 40%) -Ventana de vidrio templado incoloro 6mm: 0.11 (u 11%)	- Muros tarrajado y pintado color blanco mate: 0.8 (u 80%) -Puertas Clóset: 0.6 (u 60%) -Puerta ingreso contraplacada MDF Pintada color blanco: 0.8 (u 80%) -Puerta Baño contraplacada MDF Pintada color blanco: 0.8 (o 80%) -Ventana de vidrio templado incoloro 6mm: 0.11 (u 11%)		- Muros tarrajado y pintado color blanco mate: 0.8 (u 80%) -Puerta ingreso contraplacada MDF Pintada color blanco: 0.8 (u 80%) -Puertas Clóset (Celosía pino - tonalidad madera clara): 0.4 (o 40%) -Ventana de vidrio templado incoloro 6mm: 0.11 (u 11%)
Acabado techo	Techo tarrajado y pintado color blanco mate 0.8 (u 80%)			
Acabado de piso	Piso Laminado MDF 0.4 (u 40%)			

Los Factores de Reflectancia en el cuadro deben estar indicados en el expediente técnico entregado (laminas, memoria descriptiva u otro entregable).

Ahora que se han conseguido todos datos mencionados en las tres etapas anteriores, se puede completar la ecuación para calcular el factor de Luz Diurna. A continuación, los espacio en color azul son aquellos que el proyectista debe llenar en la hoja de cálculo.

Caso 1 Unidad en Torre de Viviendas

Sala-Comedor		Cálculo y Solución
Dimensiones		
- Largo (m)	5.9	
- Ancho (m)	2.9	
- Altura (m)	2.37	
- Vano Altura (m)	Ventana de 2.90m (largo) x 1.60m (alto)	
	Alfeizar 0.50m. Sin embargo, únicamente para efecto de cálculo lumínico, se considerará parapeto toda superficie translúcida por debajo de 0.85m	
- Vano Alfeizar (m)		

Observaciones

- (1) Para el cálculo FDL, se considerará que la ventana tiene un alfeizar no translúcido por debajo de 0.85m, al ser altura típica para el área de trabajo promedio. Por tanto, toda área translúcida por debajo de esa altura se contabilizará como muro ciego blanco o similar en el cálculo a continuación, restándose de la fachada translúcida.
- (2) Cualquier otro vano interno sin material que conduzcan hacia otro ambiente interior techado se podrá considerar como muro ciego.
- (3) Cualquier otro vano con material definido (puerta, puerta closet, ventana o similar) será considerado con el valor de reflectancia que corresponda.
- (4) Este escenario representa un caso extremadamente desventajoso, con menor ángulo de luz visible al exterior (θ), por estar en un nivel muy bajo, necesitará un diseño interior con acabados de alto Factor de Reflectancia.

1	Ecuación Normativa (a utilizar)																								
Ingresar los datos y calcular	$\text{Factor de Luz Diurna (promedio)} = \frac{W}{A} \cdot \frac{T \theta}{(1-R^2)} = \mathbf{2.69}$																								
	W	2.83																							
	R	0.68																							
	T	90%																							
	θ	42.00																							
	A	74.35 (m²)																							
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Superficie</th> <th>% Superficie</th> <th>Factor Reflectancia por superficie</th> <th>Factor Reflectancia ponderado (R)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Área int. Piso (m²)</td> <td>17.11</td> <td>Piso Laminado MDF</td> <td>23.01</td> <td>0.4</td> </tr> <tr> <td>Área int. Techo (m²)</td> <td>17.11</td> <td>Tarrajado-pintado blanco mate</td> <td>23.01</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>Área Ventana (m²)</td> <td>2.83</td> <td>(1)</td> <td>3.81</td> <td>0.11</td> </tr> <tr> <td>Área int. Muro (m²)</td> <td>37.30</td> <td>Tarrajado-pintado blanco mate</td> <td>50.17</td> <td>0.8</td> </tr> </tbody> </table>		Superficie	% Superficie	Factor Reflectancia por superficie	Factor Reflectancia ponderado (R)	Área int. Piso (m²)	17.11	Piso Laminado MDF	23.01	0.4	Área int. Techo (m²)	17.11	Tarrajado-pintado blanco mate	23.01	0.8	Área Ventana (m²)	2.83	(1)	3.81	0.11	Área int. Muro (m²)	37.30	Tarrajado-pintado blanco mate	50.17
Superficie	% Superficie	Factor Reflectancia por superficie	Factor Reflectancia ponderado (R)																						
Área int. Piso (m²)	17.11	Piso Laminado MDF	23.01	0.4																					
Área int. Techo (m²)	17.11	Tarrajado-pintado blanco mate	23.01	0.8																					
Área Ventana (m²)	2.83	(1)	3.81	0.11																					
Área int. Muro (m²)	37.30	Tarrajado-pintado blanco mate	50.17	0.8																					

Cálculo de ángulo de luz Visible θ	Ángulo	Longitud obstrucción (2)	%
Longitud de ambiente		2.9	100
Edificación Vecina de h=22.56m	42	2.9	100
	0	0	0.00
	0	0	0.00
	0	0	0.00
Ángulo luz visible promedio		42.00°	

(3)

El ángulo de luz visible al exterior (θ) es de 42°, afectando el ingreso de luz dado el ancho de la calle exterior, la cercanía del edificio al otro lado de la acera y la ubicación del ambiente en un piso muy bajo.

2	Se tiene:	
Verificar que cumpla el valor mínimo	-Se trata de un ambiente de vivienda: Sala-comedor	
	Se requiere normativamente:	
	Factor Luz Diurna mínimo normativo para	Sala-Comedor 0.8 *en condiciones normales
	¿Se aumentará el FLD en 25%?	SÍ 0.2 **
	Factor Luz Diurna mínimo final	1.00 Sala-Comedor con abertura en la cara más corta.
<p>** La abertura (ventana) al exterior está uniformemente distribuida a lo largo de la fachada, sin embargo, está colocada en la cara lateral más CORTA, lo cual representa un escenario DESFAVORABLE para el ingreso de luz natural. Por tanto, el Factor de Luz Diurna a superar debe ser 25% superior al mínimo requerido normativo, es decir, para Sala comedor se exige un valor FLD de 0.8, pero dado el escenario desfavorable de abertura, esta cifra debe incrementarse en 25%, siendo por ende el FDL de 1 como mínimo a alcanzar en este ambiente.</p>		
<p>Factor de Luz Diurna Obtenido 2.69</p> <p>Con el diseño de ventana actual, el Factor de Luz Diurna alcanzado es MAYOR al mínimo valor requerido normativo + 25%. SÍ cumple.</p>		

NOTA:

- (1) El Factor de Reflectancia tomado para los vidrios de las ventanas es referencial, como ejemplo para este caso. El Proyectista deberá asegurarse de obtener este dato por parte de su proveedor de vidrios.
- (2) La Longitud de obstrucción se mide respecto al largo de la abertura.
- (3) Se recomienda usar no más de cinco volúmenes obstrucción para las aberturas de cada ambiente. Deben ser los más representativos por ambiente, de ser el caso.

Dormitorio Principal		Cálculo y Solución
Dimensiones		
- Largo (m)	4.05	
- Ancho (m)	2.69	
- Altura (m)	2.37	
- Vano Altura (m)	Ventana de 2.90m (largo) x 1.60m (alto)	
- Vano Alfeizar (m)	Alfeizar 0.90m. Sin embargo, únicamente para efecto de cálculo lumínico, se considerará parapeto toda superficie translúcida por debajo de 0.85m	

Observaciones

- (1) Para el cálculo FDL, se considerará que la ventana tiene un alfeizar no translúcido por debajo de 0.85m, al ser altura típica para el área de trabajo promedio. Por tanto, toda área translúcida por debajo de esa altura se contabilizará como muro ciego blanco o similar en el cálculo a continuación, restándose de la fachada translúcida.
- (2) Cualquier otro vano interno sin material que conduzcan hacia otro ambiente interior techado se podrá considerar como muro ciego.
- (3) Cualquier otro vano con material definido (puerta, puerta closet, ventana o similar) será considerado con el valor de reflectancia que corresponda.
- (4) Este escenario representa un caso extremadamente desventajoso, con menor ángulo de luz visible al exterior (θ), por estar en un nivel muy bajo, necesitará un diseño interior con acabados de alto Factor de Reflectancia.

1 Ecuación Normativa (a utilizar)	
$\text{Factor de Luz Diurna (promedio)} = \frac{W}{A} \frac{T \theta}{(1 - R^2)} = \mathbf{1.46}$	
W	1.10
R	0.68
T	90.00%
θ	42.00°
A	53.47 (m ²)
Área int. Piso (m ²)	10.68 Piso Laminado MDF 19.99 0.4
Área int. Techo (m ²)	10.68 Tarrajado-pintado blanco mate 19.99 0.8
Área Ventana (m ²)	1.10 (1) 2.06 0.11
	24.88 Tarrajado-pintado blanco mate 46.53 0.8
	1.68 Puerta ingreso MDF color blanco 3.14 0.8
Área int. Muro (m ²)	1.47 Puerta baño MDF color blanco 2.75 0.8
	2.96 Puerta closet pino tonal, madera clara 5.54 0.4
	0.68

Cálculo de ángulo de luz Visible θ	Áng.	Longitud obstrucción (m) (2)	%
Longitud de ambiente		1.1	100
Edificación Vecina de h=22.56m	42	1.1	100
	0	0	0.0
	0	0	0.0
	0	0	0.0
	0	0	0.0
Ángulo luz visible promedio		42.00	°

(3)

El ángulo de luz visible al exterior (θ) es de 42°, afectando el ingreso de luz dado el ancho de la calle exterior, la cercanía del edificio al otro lado de la acera y la ubicación del ambiente en un piso muy bajo.

2 Se tiene:	
-Se trata de un ambiente de vivienda: Dormitorio Principal	
Se requiere normativamente:	
Factor Luz Diurna mínimo normativo para	Dorm. Principal 0.4 *en condiciones normales
¿Se aumentará el FLD en 25%?	Sí 0.1 **
Factor Luz Diurna mínimo final	0.50 Dormitorio Principal con abertura en la cara más corta.
** La abertura (ventana) al exterior está uniformemente distribuida a lo largo de la fachada, sin embargo, está colocada en la cara lateral más CORTA , lo cual representa un escenario DESFAVORABLE para el ingreso de luz natural. Por tanto, el Factor de Luz Diurna a superar debe ser 25% superior al mínimo requerido normativo, es decir, para Dormitorio se exige un valor FLD de 0.4, pero dado el escenario desfavorable de abertura, esta cifra debe incrementarse en 25%, siendo por ende el FDL de 0.5 como mínimo a alcanzar en este ambiente de Sala-Comedor.	
Factor de Luz Diurna Obtenido	1.46
Con el diseño de ventana actual, el Factor de Luz Diurna alcanzado es MAYOR al mínimo valor requerido normativo + 25%. Si cumple.	

NOTA:

- (1) El Factor de Reflectancia tomado para los vidrios de las ventanas es referencial, como ejemplo para este caso. El Proyectista deberá asegurarse de obtener este dato por parte de su proveedor de vidrios.
- (2) La Longitud de obstrucción se mide respecto al largo de la abertura.
- (3) Se recomienda usar no más de cinco volúmenes obstrucción para las aberturas de cada ambiente. Deben ser los más representativos por ambiente, de ser el caso.

Dormitorio 01		Cálculo y Solución
Dimensiones		
- Largo (m)	3.25	
- Ancho (m)	2.44	
- Altura (m)	2.37	
- Vano Altura (m)	Ventana de 2.90m (largo) x 1.60m (alto)	
- Vano Alfeizar (m)	Alfeizar 0.90m. Sin embargo, únicamente para efecto de cálculo lumínico, se considerará parapeto toda superficie translúcida por debajo de 0.85m	

Observaciones

- (1) Para el cálculo FDL, se considerará que la ventana tiene un alfeizar no translúcido por debajo de 0.85m, al ser altura típica para el área de trabajo promedio. Por tanto, toda área translúcida por debajo de esa altura se contabilizará como muro ciego blanco o similar en el cálculo a continuación, restándose de la fachada translúcida.
- (2) Cualquier otro vano interno sin material que conduzcan hacia otro ambiente interior techado se podrá considerar como muro ciego.
- (3) Cualquier otro vano con material definido (puerta, puerta closet, ventana o similar) será considerado con el valor de reflectancia que corresponda.
- (4) Este escenario representa un caso extremadamente desventajoso, con menor ángulo de luz visible al exterior (θ), por estar en un nivel muy bajo, necesitará un diseño interior con acabados de alto Factor de Reflectancia.

1 Ecuación Normativa (a utilizar)																																
$\text{Factor de Luz Diurna (promedio)} = \frac{W}{A} \frac{T\theta}{(1-R^2)} = \mathbf{1.97}$																																
W	1.10																															
R	0.68																															
T	90.00%																															
θ	42.00																															
A	39.40 (m ²)																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Área</th> <th>Material</th> <th>% Superficie</th> <th>Factor Reflectancia por superficie</th> <th>Factor Reflectancia ponderado (R)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Área int. Piso (m²)</td> <td>6.7 Piso Laminado MDF</td> <td>17.00</td> <td>0.4</td> <td rowspan="5">0.68</td> </tr> <tr> <td>Área int. Techo (m²)</td> <td>6.7 Tarrajeado-pintado blanco</td> <td>17.00</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>Área Ventana (m²)</td> <td>1.10 (1)</td> <td>2.79</td> <td>0.11</td> </tr> <tr> <td>Área int. Muro (m²)</td> <td>20.25 Tarrajeado-pintado blanco</td> <td>51.42</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1.68 Puerta ingreso MDF color blanco</td> <td>4.26</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td></td> <td>2.96 Puerta clóset pino -madera clara</td> <td>7.52</td> <td>0.4</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		Área	Material	% Superficie	Factor Reflectancia por superficie	Factor Reflectancia ponderado (R)	Área int. Piso (m ²)	6.7 Piso Laminado MDF	17.00	0.4	0.68	Área int. Techo (m ²)	6.7 Tarrajeado-pintado blanco	17.00	0.8	Área Ventana (m ²)	1.10 (1)	2.79	0.11	Área int. Muro (m ²)	20.25 Tarrajeado-pintado blanco	51.42	0.8		1.68 Puerta ingreso MDF color blanco	4.26	0.8		2.96 Puerta clóset pino -madera clara	7.52	0.4	
Área	Material	% Superficie	Factor Reflectancia por superficie	Factor Reflectancia ponderado (R)																												
Área int. Piso (m ²)	6.7 Piso Laminado MDF	17.00	0.4	0.68																												
Área int. Techo (m ²)	6.7 Tarrajeado-pintado blanco	17.00	0.8																													
Área Ventana (m ²)	1.10 (1)	2.79	0.11																													
Área int. Muro (m ²)	20.25 Tarrajeado-pintado blanco	51.42	0.8																													
	1.68 Puerta ingreso MDF color blanco	4.26	0.8																													
	2.96 Puerta clóset pino -madera clara	7.52	0.4																													

Cálculo de ángulo de luz Visible θ	Áng.	Longitud obstrucción (m) (2)	%
Longitud de ambiente		1.1	100
Edificación Vecina de h=22.56m	42	1.1	100
	0	0	0.0
	0	0	0.0
	0	0	0.0
	0	0	0.0
Ángulo luz visible promedio	42.00		

(3)

El ángulo de luz visible al exterior (θ) es de 42°, afectando el ingreso de luz dado el ancho de la calle exterior, la cercanía del edificio al otro lado de la acera y la ubicación del ambiente en un piso muy bajo.

NOTA:

- (1) El Factor de Reflectancia tomado para los vidrios de las ventanas es referencial, como ejemplo para este caso. El Proyectista deberá asegurarse de obtener este dato por parte de su proveedor de vidrios.
- (2) La Longitud de obstrucción se mide respecto al largo de la abertura.
- (3) Se recomienda usar no más de cinco volúmenes obstrucción para las aberturas de cada ambiente. Deben ser los más representativos por ambiente, de ser el caso.

2 Se tiene:	
-Se trata de un ambiente de vivienda: Dormitorio 01	
Se requiere normativamente:	
Factor Luz Diurna mínimo normativo para Dorm. 01	0.4 *en condiciones normales
¿Se aumentará el FLD en 25%?	Sí 0.1 **
Factor Luz Diurna mínimo final	0.50 Sala-Comedor con la abertura en la cara más corta.
<p>** La abertura (ventana) al exterior está uniformemente distribuida a lo largo de la fachada, sin embargo, está colocada en la cara lateral más CORTA, lo cual representa un escenario DESFAVORABLE para el ingreso de luz natural. Por tanto, el Factor de Luz Diurna a superar debe ser 25% superior al mínimo requerido normativo, es decir, para Dormitorio se exige un valor FLD de 0.4, pero dado el escenario desfavorable de abertura, esta cifra debe incrementarse en 25%, siendo por ende el FLD de 0.5 como mínimo a alcanzar en este ambiente de Sala-Comedor.</p>	
Factor de Luz Diurna Obtenido	1.97
Con el diseño de ventana actual, el Factor de Luz Diurna alcanzado es MAYOR al mínimo valor requerido normativo + 25%. Sí cumple.	

Dormitorio 02		Cálculo y Solución
Dimensiones		
- Largo (m)	3.2	
- Ancho (m)	2.44	
- Altura (m)	2.37	
- Vano Altura (m)	Ventana de 2.90m (largo) x 1.60m (alto)	
- Vano Alfeizar (m)	Alfeizar 0.90m. Sin embargo, únicamente para efecto de cálculo lumínico, se considerará parapeto toda superficie translúcida por debajo de 0.85m	

Observaciones

- (1) Para el cálculo FDL, se considerará que la ventana tiene un alfeizar no translúcido por debajo de 0.85m, al ser altura típica para el área de trabajo promedio. Por tanto, toda área translúcida por debajo de esa altura se contabilizará como muro ciego blanco o similar en el cálculo a continuación, restándose de la fachada translúcida.
- (2) Cualquier otro vano interno sin material que conduzcan hacia otro ambiente interior techado se podrá considerar como muro ciego.
- (3) Cualquier otro vano con material definido (puerta, puerta closet, ventana o similar) será considerado con el valor de reflectancia que corresponda.
- (4) Este escenario representa un caso extremadamente desventajoso, con menor ángulo de luz visible al exterior (θ), por estar en un nivel muy bajo, necesitará un diseño interior con acabados de alto Factor de Reflectancia.

1		Ecuación Normativa (a utilizar)	
Ingresar los datos y calcular	$\text{Factor de Luz Diurna (promedio)} = \frac{W}{A} \frac{T \theta}{(1-R^2)} = \mathbf{1.88}$		
	W	1.10	
	R	0.68	
	T	90.00%	
	θ	42.00	% Superficie
	A	41.52	(m ²)
	Área int. Piso (m ²)	7.35	Piso Laminado MDF 17.71 0.4
	Área int. Techo (m ²)	7.35	Tarrajado-pintado blanco mate 17.71 0.8
	Área Ventana (m ²)	1.10	(1) 2.65 0.11
	Área int. Muro (m ²)	21.21	Tarrajado-pintado blanco mate 51.09 0.8
	1.68	Puerta ingreso MDF color blanco 4.05 0.8	
	2.82	Puerta closet pino madera clara 6.79 0.4	
		Factor Reflectancia ponderado (R) 0.68	

Cálculo de ángulo de luz Visible θ	Áng.	Longitud obstrucción (m) (2)	%
Longitud de ambiente		1.1	100
Edificación Vecina de h=22.56m	42	1.1	100
	0	0	0.00
	0	0	0.00
	0	0	0.00
	0	0	0.00
Ángulo luz visible promedio		42.00 °	

(3)

El ángulo de luz visible al exterior (θ) es de 42°, afectando el ingreso de luz dado el ancho de la calle exterior, la cercanía del edificio al otro lado de la acera y la ubicación del ambiente en un piso muy bajo.

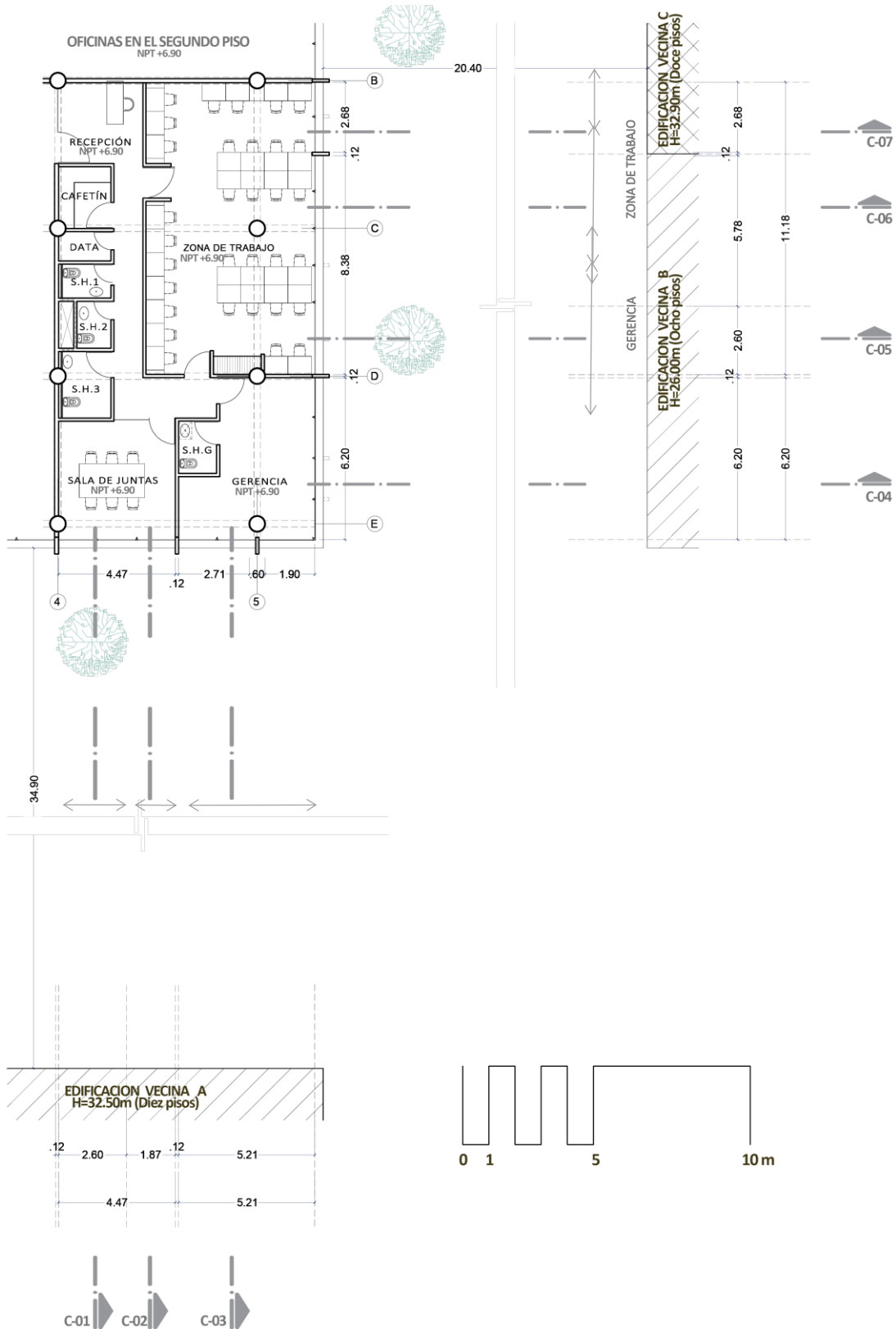
2		Se tiene:	
Verificar que cumpla el valor mínimo	-Se trata de un ambiente de vivienda: Dormitorio 02		
	Se requiere normativamente:		
	Factor Luz Diurna mínimo normativo para	Dorm. 02	0.4
	¿Se aumentará el FLD en 25%?	SÍ	0.1
	Factor Luz Diurna mínimo final	0.50	
	** La abertura (ventana) al exterior está uniformemente distribuida a lo largo de la fachada, sin embargo, está colocada en la cara lateral más CORTA , lo cual representa un escenario DESFAVORABLE para el ingreso de luz natural. Por tanto, el Factor de Luz Diurna a superar debe ser 25% superior al mínimo requerido normativo, es decir, para Dormitorio se exige un valor FLD de 0.4, pero dado el escenario desfavorable de abertura, esta cifra debe incrementarse en 25% , siendo por ende el FDL de 0.5 como mínimo a alcanzar en este ambiente de Sala-Comedor.		
	Factor de Luz Diurna Obtenido	1.88	
	Con el diseño de ventana actual, el Factor de Luz Diurna alcanzado es MAYOR al mínimo valor requerido normativo + 25%. SÍ cumple .		

NOTA:

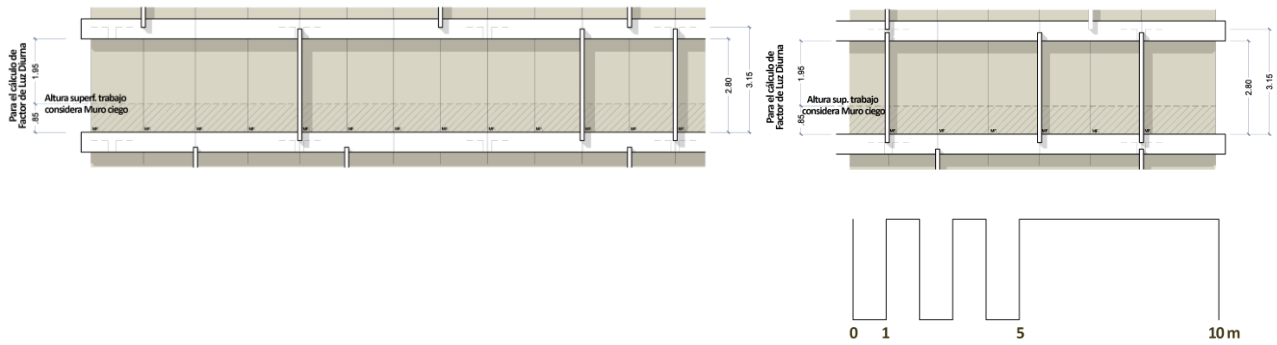
- (1) El Factor de Reflectancia tomado para los vidrios de las ventanas es referencial, como ejemplo para este caso. El Proyectista deberá asegurarse de obtener este dato por parte de su proveedor de vidrios.
- (2) La Longitud de obstrucción se mide respecto al largo de la abertura.
- (3) Se recomienda usar no más de cinco volúmenes obstrucción para las aberturas de cada ambiente. Deben ser los más representativos por ambiente, de ser el caso.

7.2 Caso 2

Se tiene un edificio de oficinas donde se desarrolla el siguiente proyecto en el segundo nivel de la torre con NPT +6.90:

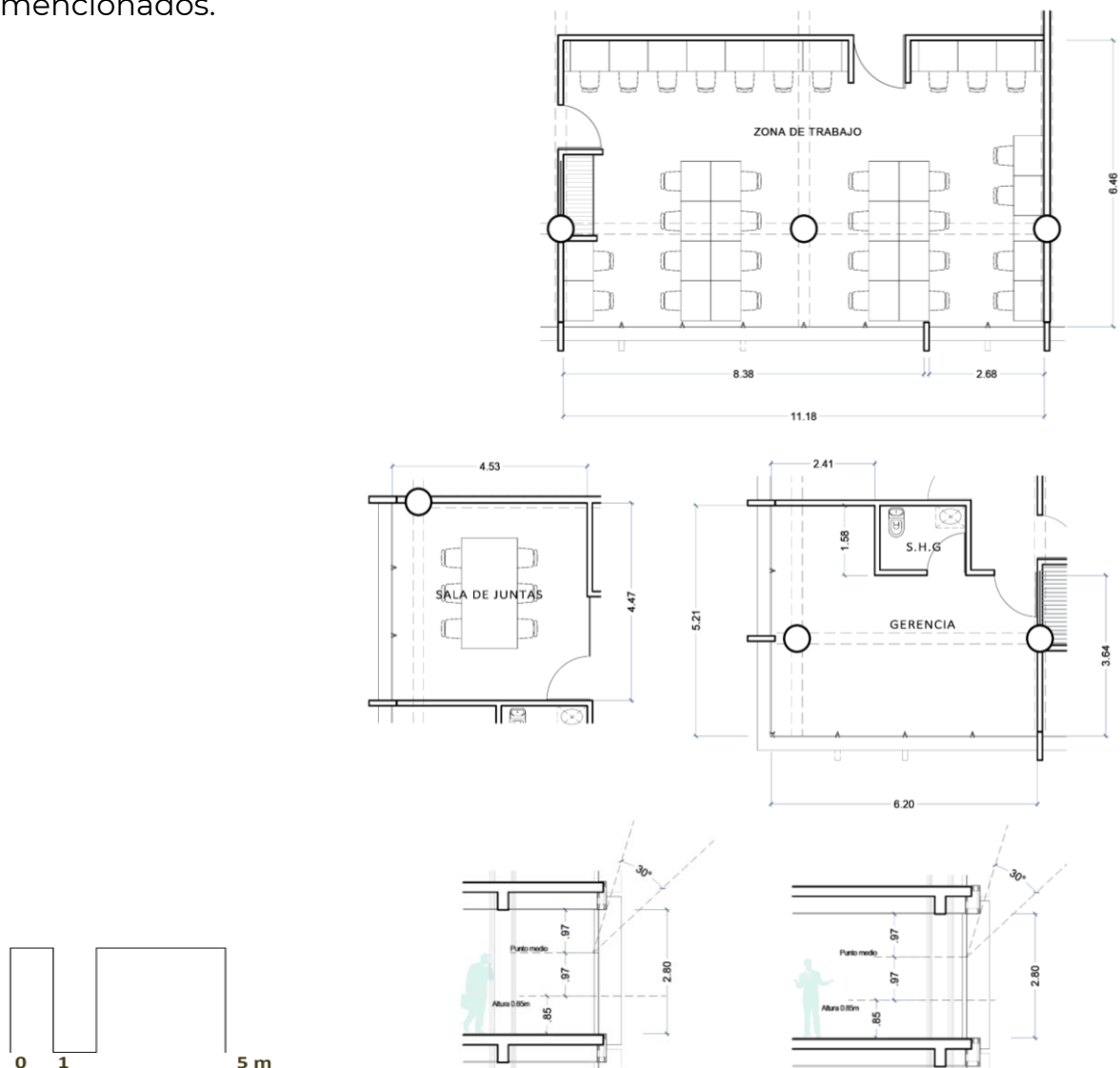


Cálculo de iluminación natural en edificaciones



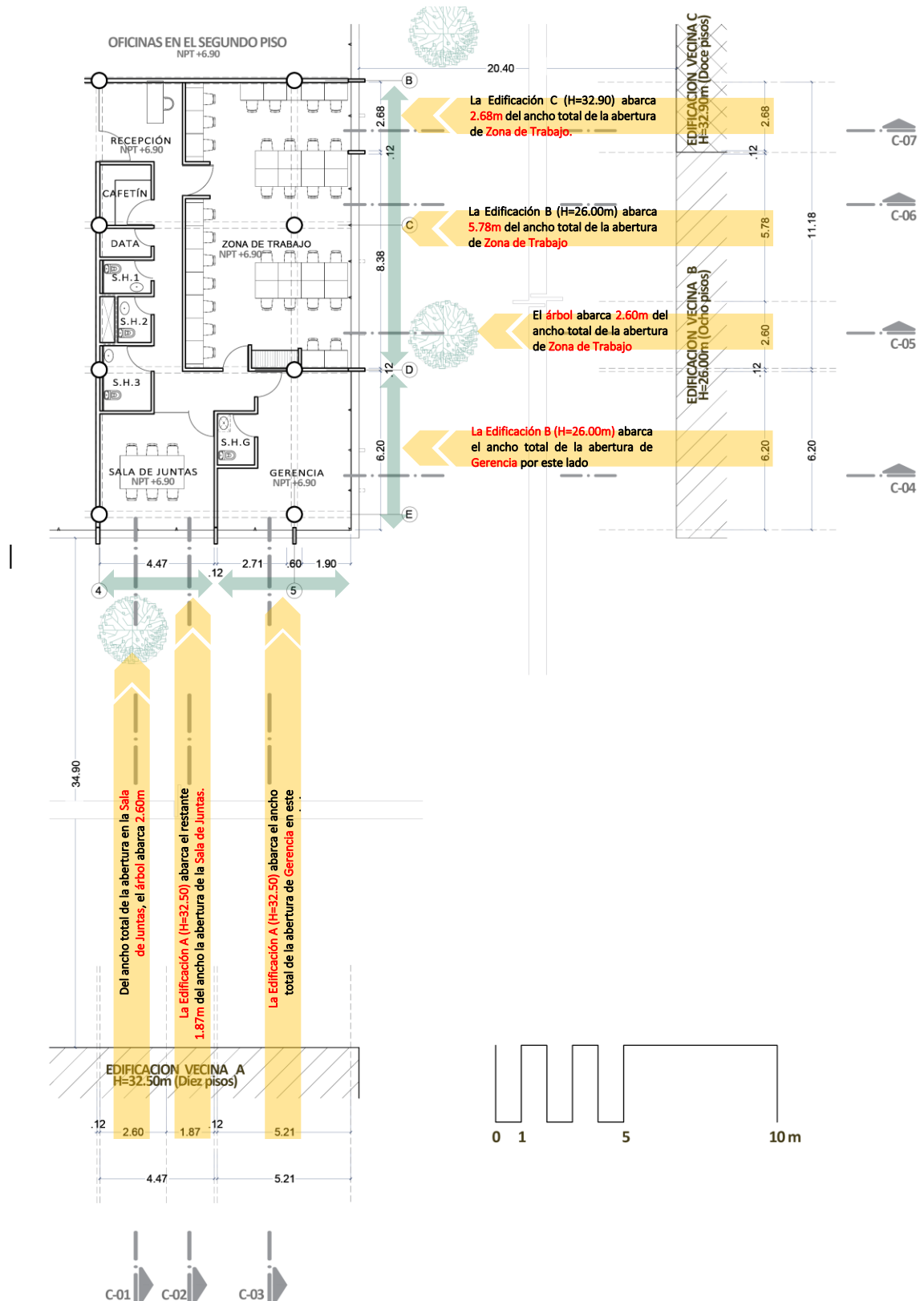
Etapa 1. Identificando los espacios de trabajo con ventanas al exterior

Los ambientes principales de trabajo visual son tres: **Zona de trabajo**, **Sala de Juntas** y **Gerencia**. Los servicios Higiénicos, data y cafetín son de uso temporal no permanente, por lo que no se considerarán prioritarios para exigir iluminación natural mínima. El escritorio de recepción usualmente no precisa presencia permanente del trabajador (a) recepcionista en ese sitio, por lo que es tolerable ubicarse lejos de la fuente de luz natural. Se priorizarán los tres ambientes de trabajo arriba mencionados.



Etapa 2. Identificar los elementos exteriores que bloquean la llegada de luz (ángulo de luz Visible θ)

Diversos elementos en el entorno urbano bloquean el acceso de luz en cada ambiente interior: vegetación, edificaciones circundantes, entre otros.

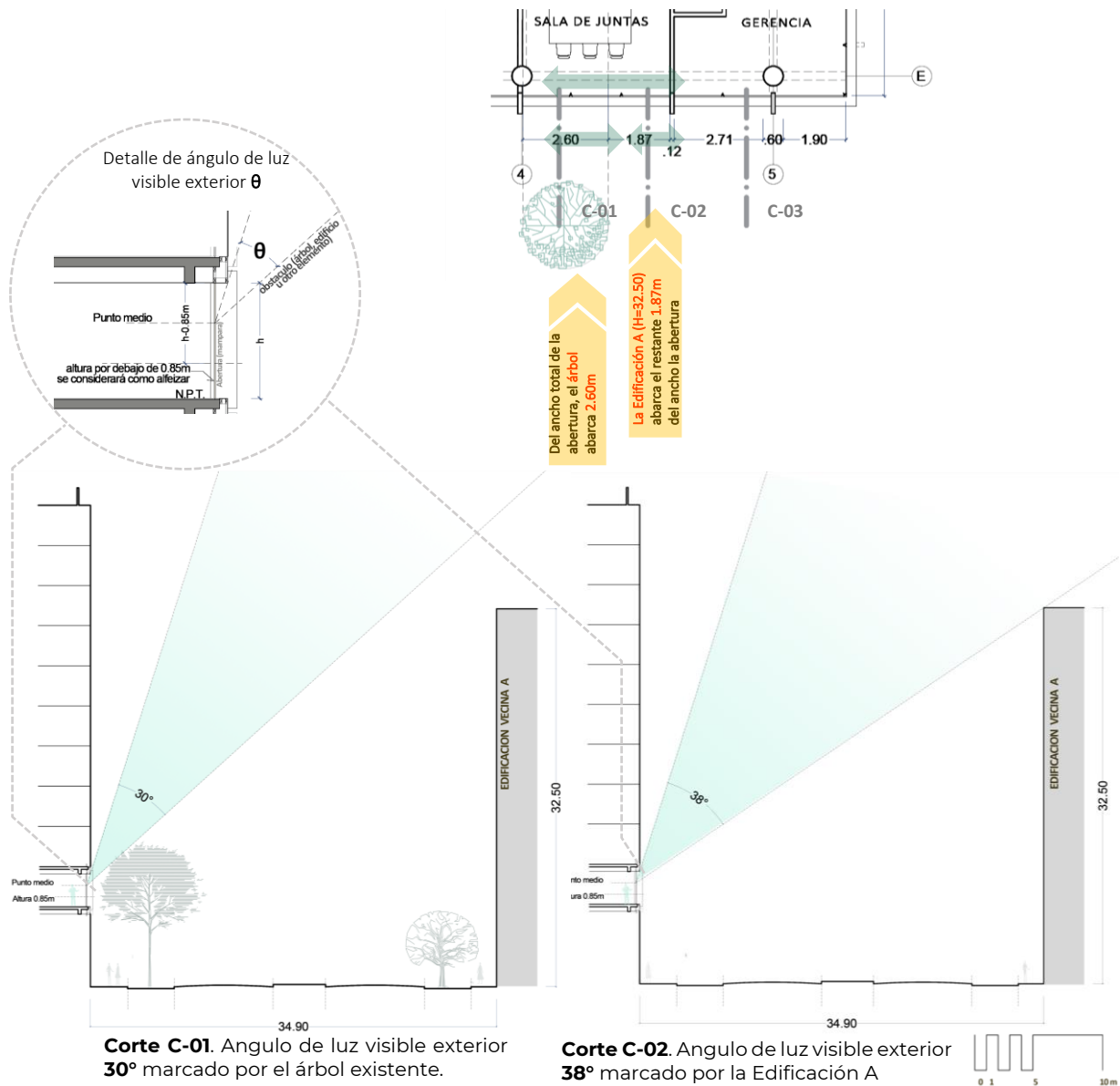


Cálculo de iluminación natural en edificaciones

En cada ambiente, identificar **hasta 05 elementos exteriores**, aquellos de mayor volumen y que obstruyan significativamente la llegada de luz solar, a fin de definir el **Angulo de luz visible exterior** para cada caso:

• Sala de Juntas

- El árbol presente bloquea el 58% del largo de la abertura (mampara). **Ver corte C-01.**
- La Edificación A bloquea el 42% del largo de la abertura (el resto de la mampara). **Ver corte C-02.**

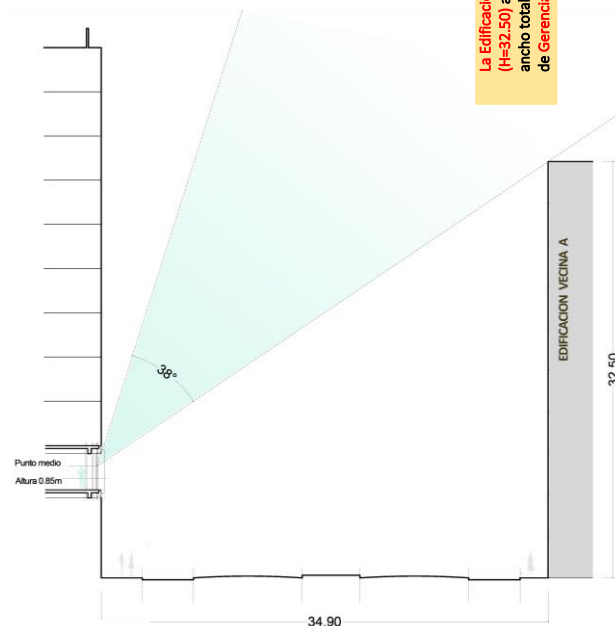
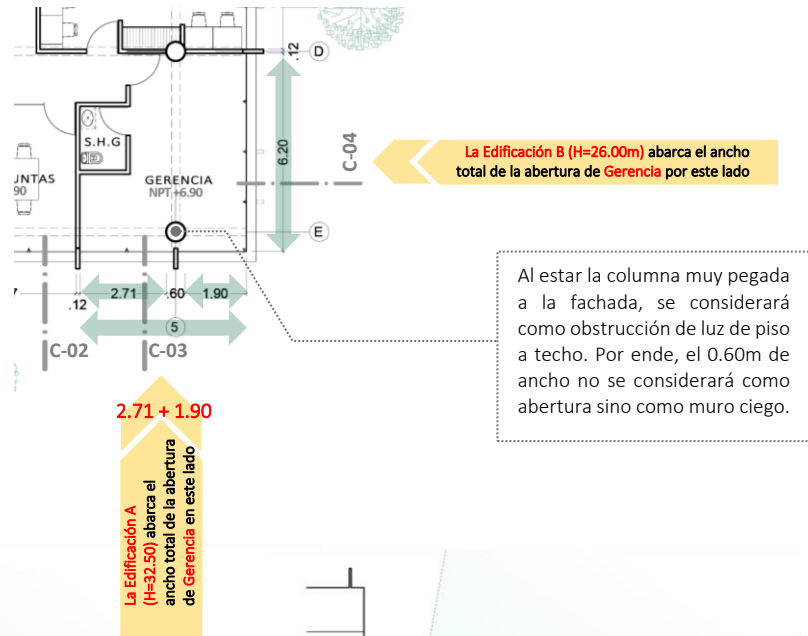


Por tanto, un ancho de 2.60m de la abertura en **Sala de Juntas** se tiene 30° de ángulo de luz visible exterior, por el árbol presente. Para el resto de la abertura (1.87m) el ángulo aumenta a 38° por la ausencia de árboles y la presencia de la Edificación A más distante de la abertura. Entre esos dos ángulos, el promedio se calcula:

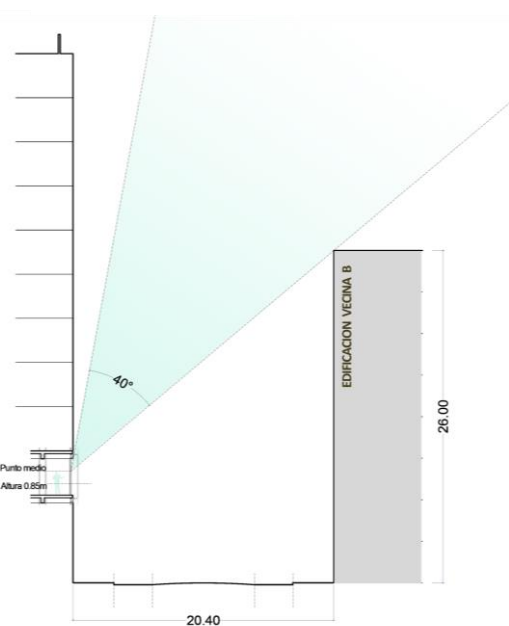
$$\text{Angulo Visión promedio Sala de Juntas} = \frac{(30^\circ \times 2,60\text{m}) + (38^\circ \times 1,87\text{m})}{(2,60\text{m} + 1,87\text{m})} = 33,35^\circ$$

• **Gerencia**

- La Edificación A bloquea el 46% del largo de la abertura (mampara), en la fachada sur. **Ver corte C-03.**
- La Edificación B bloquea el 54% del largo de la abertura (el resto de la mampara), por la fachada este. **Ver corte C-04.**



Corte C-03. Angulo de luz visible exterior **38°** marcado por la Edificación A.



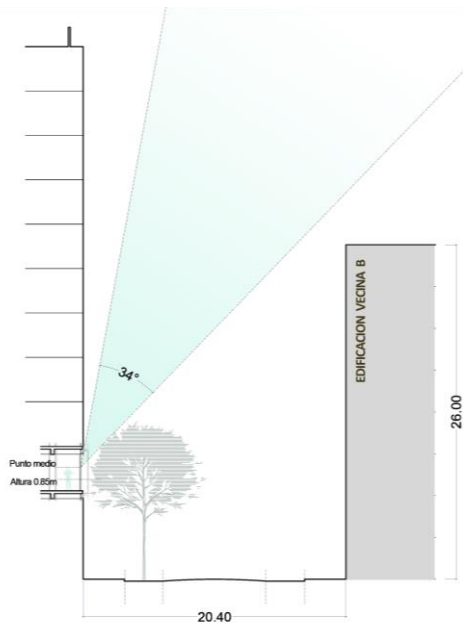
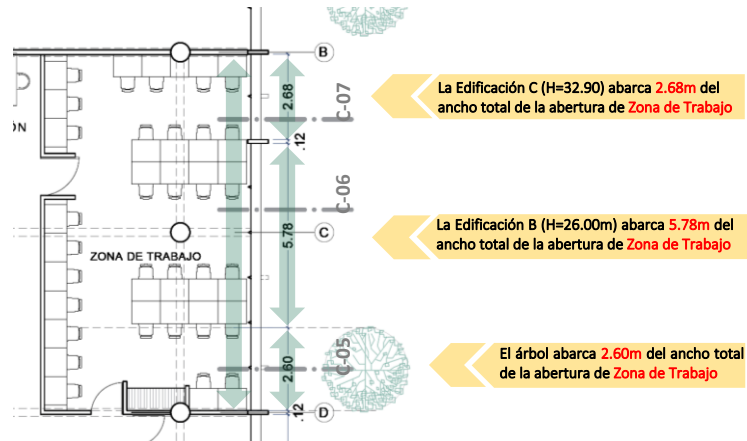
Corte C-04. Angulo de luz visible exterior **40°** marcado por la Edificación B

Por tanto, el 46% de la abertura de la **Gerencia** tiene 38° de ángulo de luz visible exterior. Para el resto de la abertura (54%) por el otro lado de la fachada en ese mismo ambiente, el ángulo aumenta ligeramente a 40°, debido a que la Edificación B, por ese lado, tiene menor altura. Entre esos dos diferentes ángulos, el promedio se calcula:

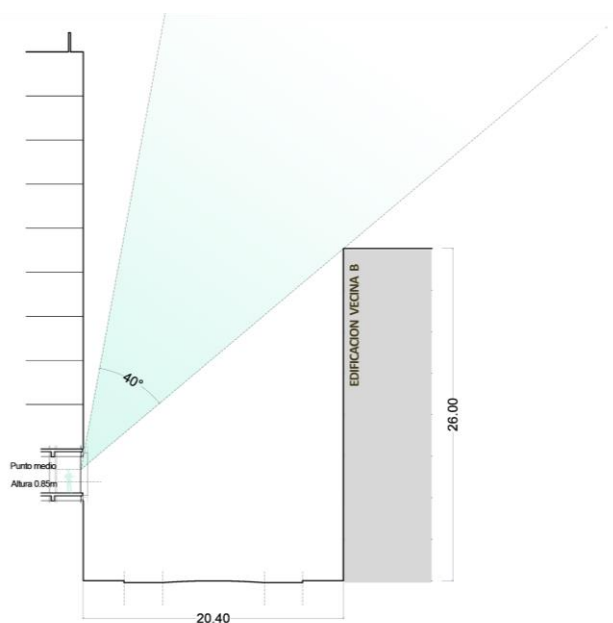
$$\text{Angulo Visión promedio Gerencia} = \frac{(38^\circ \times (2.71\text{m} + 1.90\text{m})) + (40^\circ \times 6.20\text{m})}{((2.71\text{m} + 1.90\text{m}) + 6.20\text{m})} = 39.15^\circ$$

• Zona de trabajo

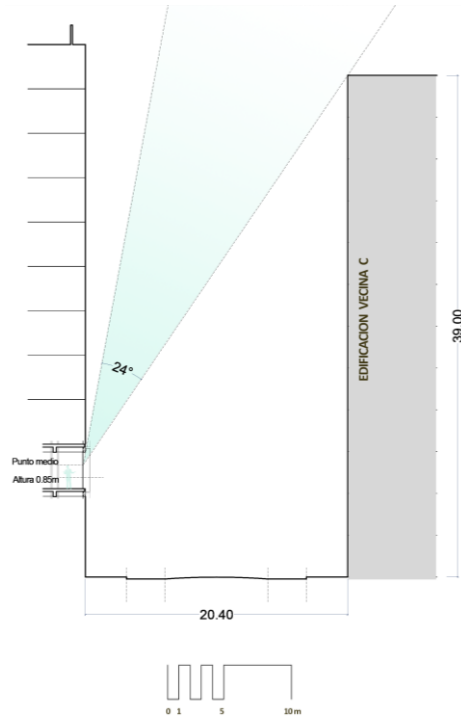
- El árbol presente bloquea el 23% del largo de la abertura (mampara). **Ver corte C-05.**
- La Edificación B bloquea el 52% del largo de la abertura (mampara), fachada sur. **Ver corte C-06.**
- La Edificación C bloquea el 25% del largo de la abertura (el resto de la mampara), por la fachada este. **Ver corte C-07.**



Corte C-05. Angulo de luz visible exterior **34°** marcado por la Edificación



Corte C-06. Angulo de luz visible exterior **40°** marcado por la Edificación



Corte C-07. Ángulo de luz visible exterior 24° marcado por la Edificación B

Por tanto, 2.60m del ancho total de la abertura en la **Zona de Trabajo** tiene un ángulo de luz visible exterior de 34° debido a la presencia del árbol cerca de la fachada.

Otro sector de 5.78m de ancho tiene un ángulo de visión de 40° debido a la presencia de la Edificación B en el lado opuesto a la calle.

El resto de la abertura (2.68m), tiene un ángulo de 24° , debido a que la Edificación C, al tener mayor altura, limita aún más el acceso de luz diurna.

Entre esos tres diferentes ángulos de luz visibles, el promedio se obtiene de la siguiente manera:

$$\text{Angulo Visión promedio Zona de Trabajo} = \frac{(34^\circ \times 2.60\text{m}) + (40^\circ \times 5.78\text{m}) + (24^\circ \times 2.68\text{m})}{2.60\text{m} + 5.78\text{m} + 2.68\text{m}} = 34.71^\circ$$

Etapas 3. Identificar los elementos restantes de la ecuación de Factor de Luz Diurna en el proyecto (expediente técnico)

Tras haber calculado el ángulo de luz visible **promedio** en cada ambiente (diversos obstáculos visuales hallados), los capítulos 4 y 5 muestran que la ecuación de cálculo lumínico depende también del Área traslúcida de la ventana (W), el Factor de Transmisión Luminosa del vidrio de la abertura **al exterior** (T), el Factor de reflectancia de las superficies internas (R) y el Área de todas las superficies internas (A) para cada espacio evaluado.

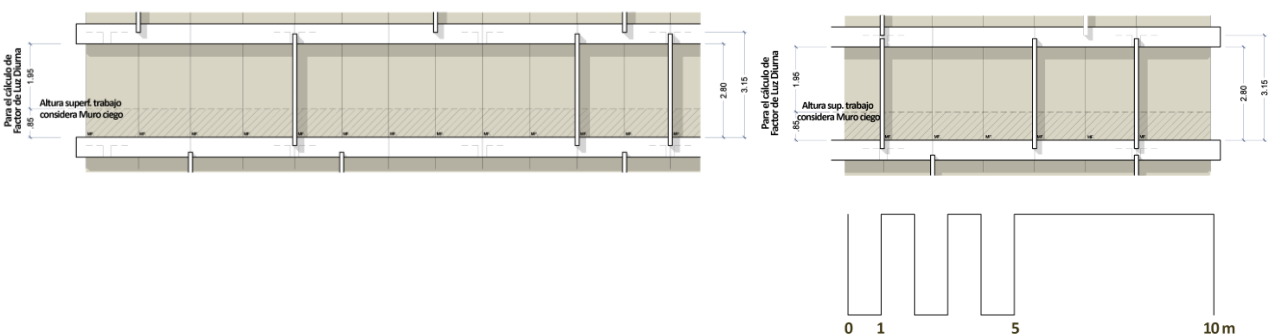
• **Área traslúcida de la ventana (W)**

El área traslúcida de la ventana será metrada por el proyectista y corroborada por el revisor mediante elevaciones (anteproyecto) o detalle (proyecto). Independientemente de los planos y detalles, la superficie traslúcida puede sustentarse en la memoria descriptiva u otro entregable. No se debe considerar elementos opacos como perfilerías u otros accesorios no traslúcidos. Para el presente caso de estudio se asumirá que, tras revisar el metraje de vidrios en la fachada de cada ambiente, se halló la siguiente información:

	Sala de Juntas	Gerencia	Zona de Trabajo
Área fachada vidriada	Mampara de 12.52m ² , sin embargo, para calculo lumínico, toda área translúcida por debajo de los 0.85m de alto se considerará como parapeto o alfeizar opaco (adicionándose al área de paredes blanca y descontándose del área vidriada de la fachada). <u>Entonces el área final translúcida será de 8.72m².</u>	Mampara de 31.62m ² , sin embargo, para calculo lumínico, toda área translúcida por debajo de los 0.85m de alto se considerará como parapeto o alfeizar opaco (adicionándose al área de paredes blanca y descontándose del área vidriada de la fachada). <u>Entonces el área final translúcida será de 22.02m².</u>	Mampara de 30.97m ² , sin embargo, para calculo lumínico, toda área translúcida por debajo de los 0.85m de alto se considerará como parapeto o alfeizar opaco (adicionándose al área de paredes blanca y descontándose del área vidriada de la fachada). <u>Entonces el área final translúcida será de 21.57m².</u>

Revisando las plantas, elevaciones y cortes se aprecia además que:

- Se considera el metraje de material traslúcido sin carpinterías.
- Las aberturas están distribuidas de manera uniforme a lo largo de una de las caras laterales más extensas.
- Factor de Transmisión Luminosa del vidrio en la ficha técnica de su proveedor.



• **Factor de Transmisión Luminosa del vidrio de la abertura (T)**

Debe figurar en la ficha técnica de los vidrios a emplear. El proyectista deben consignarlo en los planos, elevaciones, detalles o memoria descriptiva. La ficha debe adjuntarse en los entregables.

Para las aberturas de la fachada.

Para el presente caso de estudio, se asumirá que las aberturas (mamparas) en la fachada tendrán vidrios con **Factor de Transmisión Luminosa de 75% (0.75)**. Por tanto, en el ambiente evaluado, ese será el valor a utilizar en la ecuación de Factor de Luz Diurna.

• **Área de todas las superficies internas (A)**

El metrado de paredes, pisos y techo y otras superficies significativas como puertas y ventanas. Respecto a la superficie de techo, en caso el ambiente posea cielo raso, se considerará únicamente esa área para el cálculo. En este proyecto se obtuvo las siguientes cifras:

	Sala de Juntas	Gerencia	Zona de Trabajo
Área fachada vidriada	Área de Piso: 20.2861 m ²	Área de Piso: 26.0507 m ²	Área de Piso: 70.0632 m ²
	Área de Muro: 41.0451m ² Muro Blanco 6.58 m ² Mamparas Batientes	Área de Muro: 45.1205m ² Muro Blanco 1.3918m ² Puerta baño madera oscura 1.8961 m ² Mamparas Batientes	Área de Muro: 73.358 m ² Muro Blanco 16.4568 m ² Muro Naranja 4.62 m ² Mamparas Batientes 5.124 m ² Puertas Clóset
	Área Cielo raso: 20.2861 m ²	Área Cielo raso: 26.0507 m ²	Área Cielo raso: 70.0632 m ²
	Área ventanas: 8.7165 m ²	Área ventanas: 22.0154 m ²	Área ventanas: 21.566 m ²

Para la ecuación de Factor de Luz Diurna, el valor de **A** será la **suma de todas las superficies mencionadas en el ambiente evaluado**.

• **Factor de reflectancia de las superficies internas (R)**

El proyectista debe consignar el Factor de Reflectancia de los acabados en muros, paredes, techos, puertas u otro elemento interior. Idealmente, el proveedor de los acabados debe proporcionar el valor para las posibles pinturas, enchapes y acabados usados. El revisor, debe corroborar este valor.

De no estar disponible este valor por el proveedor, **esta cifra se tomará de la Tabla** desarrollada **en el entregable Factor de Reflectancia de Superficies**.

	Zona de Trabajo	Gerencia	Sala de Juntas
Acabados muros laterales	- Muro norte y oeste, drywall pintado color blanco mate: 0.8 (u 80%) - Muro oeste, Tarrajado y pintado color naranja: 0.5 (o 50%) -Puertas Clóset: 0.6 (o 60%) -Mampara batiente vidrio templado incoloro 8mm: 0.11 (u 11%)	- Muro norte-oeste, drywall pintado color blanco mate y columna tarrajada pintada blanco mate: 0.8 (u 80%) . -Puerta Baño de madera oscura: 0.1 (o 10%) -Mampara batiente vidrio templado incoloro 8mm: 0.11 (u 11%)	-Muros pintados blanco: 0.8 (u 80%) , lo cual incluye: - Muro norte y columna, tarrajado y pintado color blanco mate. - Muro este, drywall pintado color blanco mate y - Muro sur, drywall pintado color blanco mate. -Mampara batiente vidrio templado incoloro 8mm: 0.11 (u 11%)
Acabado techo	Baldosa acústica color blanco: 0.8 (u 80%)		
Acabado de piso	Piso porcelanato 0.6 x 0.6m. Color gris claro: 0.5 (o 50%)		
Vidrios	Vidrio templado incoloro 10mm: 0.11 (u 11%)		

Los Factores de Reflectancia en el cuadro deben estar indicados en el expediente técnico entregado (laminas, memoria descriptiva u otro entregable).

Una vez conseguidos todos esos datos mencionados en las tres etapas anteriores, se puede completar la ecuación para calcular el factor de Luz Diurna. A continuación, los espacio en color azul son aquellos que el proyectista debe llenar en la hoja de cálculo.

Caso 2 Unidad en Torre de Oficinas

Zona de Trabajo (2do Nivel)		Cálculo y Solución
Dimensiones		
- Largo (m)	11.18	
- Ancho(m)	6.46	
- Altura (m)	2.8	
- Vano Altura (m)	Mampara de 8.38m (largo) x 2.80m (alto)	
- Vano Ancho (m)	Mampara de 2.68m (largo) x 2.80m (alto)	
- Vano Alfeizar (m)	No tiene alfeizar. Sin embargo, únicamente para efecto de cálculo lumínico se considerará parapeto de 0.85 no translúcido.	

Observaciones

- (1) Para el cálculo FDL en la fachada vidriada (h=2.80m) se considerará que esta tiene un alfeizar no translúcido de 0.85m, al ser altura típica para el área de trabajo promedio. Esta área translúcida por debajo de 0.85m de la fachada vidriada se contabilizará como muro ciego blanco en el cálculo a continuación y se restará de la fachada translúcida.
- (2) Cualquier otro vano interno que conduzcan a otro ambiente interior techado se considerará como muro ciego.
- (3) Si se conoce el acabado de las puertas del closet, considerar el valor de reflectancia que corresponda.
- (4) Este escenario representa un caso extremadamente desventajoso, con menor ángulo de luz visible al exterior (θ), por estar en un nivel muy bajo, necesitará un diseño interior con acabados de alto Factor de Reflectancia.

1 Ecuación Normativa (a utilizar)																																			
Factor de Luz Diurna (promedio) = $\frac{W}{A} \frac{T \theta}{1 - R^2} = 3.54$																																			
W	21.56																																		
R	0.62																																		
T	75.00%																																		
θ	34.71																																		
A	261.25 (m ²)																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Área (m²)</th> <th>Material</th> <th>% Superficie</th> <th>Factor Reflectancia por superficie</th> <th>Factor Reflectancia ponderado (R)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Área int. Piso (m²)</td> <td>Porcelanato 0.6 x 0.6m Gris Gris</td> <td>26.82</td> <td>0.5</td> <td rowspan="10">0.62</td> </tr> <tr> <td>Área int. Techo (m²)</td> <td>Baldosa acústica color blanco</td> <td>26.82</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td>Área ventana (m²)</td> <td>Vidrio templado incoloro 10mm</td> <td>8.25</td> <td>0.11</td> </tr> <tr> <td></td> <td>73.35 Muro Blanco</td> <td>28.08</td> <td>0.8</td> </tr> <tr> <td></td> <td>16.45 Muro Naranja</td> <td>6.30</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>Área int. Muros (m²)</td> <td>4.62 Mamparas Batientes</td> <td>1.77</td> <td>0.11</td> </tr> <tr> <td></td> <td>5.12 Puertas Closet</td> <td>1.96</td> <td>0.6</td> </tr> </tbody> </table>		Área (m ²)	Material	% Superficie	Factor Reflectancia por superficie	Factor Reflectancia ponderado (R)	Área int. Piso (m ²)	Porcelanato 0.6 x 0.6m Gris Gris	26.82	0.5	0.62	Área int. Techo (m ²)	Baldosa acústica color blanco	26.82	0.8	Área ventana (m ²)	Vidrio templado incoloro 10mm	8.25	0.11		73.35 Muro Blanco	28.08	0.8		16.45 Muro Naranja	6.30	0.5	Área int. Muros (m ²)	4.62 Mamparas Batientes	1.77	0.11		5.12 Puertas Closet	1.96	0.6
Área (m ²)	Material	% Superficie	Factor Reflectancia por superficie	Factor Reflectancia ponderado (R)																															
Área int. Piso (m ²)	Porcelanato 0.6 x 0.6m Gris Gris	26.82	0.5	0.62																															
Área int. Techo (m ²)	Baldosa acústica color blanco	26.82	0.8																																
Área ventana (m ²)	Vidrio templado incoloro 10mm	8.25	0.11																																
	73.35 Muro Blanco	28.08	0.8																																
	16.45 Muro Naranja	6.30	0.5																																
Área int. Muros (m ²)	4.62 Mamparas Batientes	1.77	0.11																																
	5.12 Puertas Closet	1.96	0.6																																

Cálculo de ángulo de luz Visible θ	Áng.	Longitud obstrucción (m)	%
Longitud de ambiente		11.06	100
Árbol	34	2.6	23.51
Edificación Vecina B de h=26.00m	40	5.78	52.2
Edificación Vecina C de h=39.00m	24	2.68	24.2
-	0	0	0.00
-	0	0	0.00
Ángulo de luz visible promedio	34.71		°

*Se recomienda usar hasta cinco volúmenes obstrucción más representativos por ambiente.

2 Se tiene:	
-Las aberturas al exterior están colocadas en la cara lateral más larga y, además, están uniformemente distribuidas a lo largo de ese frente , lo cual representa un escenario favorable para el ingreso de luz natural.	
-No obstante, dado el ancho de la calle exterior , la cercanía del edificio al otro lado de la acera y la ubicación del ambiente en un piso muy bajo , hace que el ángulo de luz visible al exterior (θ) sea de solo 30° , afectando el ingreso de luz.	
Se requiere normativamente:	
Factor Luz Diurna mínimo normativo para sala de lectura	4 *en condiciones normales
¿Se aumentará el FLD en 25%?	NO 0 **
Factor Luz Diurna mínimo final	4.00
*Sala de lectura con abertura en la cara más larga. (tipo de ambiente más aproximado).	
**No aplica, al haber ventanas uniformemente distribuidas en la cara más larga, siendo un escenario favorable.	
Factor de Luz Diurna Obtenido	3.54
Con el diseño de ventana actual, el Factor de Luz Diurna alcanzado es menor al mínimo valor requerido. No cumple.	

3	
Hay tres alternativas para alcanzar o superar el Factor de Luz Diurna a 4 como mínimo requerido:	
-Cambiar el tipo de cristal propuesto en las ventanas a otro con mayor Factor de Transición Luminosa (ver ficha técnica del vidrio)	
-Aumentar el tamaño del vano e incrementar el área translúcida de la ventana.	
-Incrementar el factor de reflectancia de una de las superficies interiores. (o las tres anteriores, de ser posible)	
En este caso, como ejemplo, se optará por la primera alternativa, reemplazar el cristal por uno nuevo con FTL de 90% que permita un mayor ingreso de luz desde el exterior. En ese caso, el cálculo arrojará un Factor de Luz Diurna de 3.67, insuficiente aún.	
Otra alternativa es aumentando el factor de reflectancia del piso , el cual es una superficie considerable, con un acabado de mayor claridad, aumentando la reflectancia a 0.65. En ese caso, se alcanzará un FLD de 4.02 cumpliendo con el valor mínimo normativo solicitado. Se puede intentar probando acabados con mayor Factor de Reflectancia en otras superficies.	

Gerencia (2do Nivel) Cálculo y Solución

Dimensiones	
- Largo (m)	6.2
- Ancho (m)	5.21
- Altura (m)	2.8
- Vano Altura (m)	Mampara de 6.20m (largo) x 2.80m (alto)
- Vano Ancho (m)	Mampara de 5.21m (largo) x 2.80m (alto)
- Vano Alfeizar (m)	No tiene alfeizar. Sin embargo, únicamente para efecto de cálculo lumínico se considerará parapeto de 0.85 no translúcido.

Observaciones

- (1) Para el cálculo FDL en la fachada vidriada (h=2.80m) se considerará que esta tiene un alfeizar no translúcido de 0.85m, al ser altura típica para el área de trabajo promedio. Esta área translúcida por debajo de 0.85m de la fachada vidriada se contabilizará como muro ciego blanco en el cálculo a continuación y se restará de la fachada translúcida.
- (2) Cualquier otro vano interno que conduzcan a otro ambiente interior techado se considerará como muro ciego.
- (3) Si se conoce el acabado de las puertas del closet, considerar el valor de reflectancia que corresponda.
- (4) Este escenario representa un caso extremadamente desventajoso, con menor ángulo de luz visible al exterior (θ), por estar en un nivel muy bajo, necesitará un diseño interior con acabados de alto Factor de Reflectancia.
- (5) Este ambiente tiene dos frentes, hacia dos calles distintas, por lo que se evaluará el desempeño de luz en el frente con la cara translúcida de mayor superficie.

1 Ecuación Normativa (a utilizar)						
Factor de Luz Diurna (promedio) = $\frac{W}{A} \frac{T \theta}{(1 - R^2)}$ = 8.14						
W	22.01					
R	0.59					
T	75.00%					
θ	39.15					
A	122.52 (m ²)					
Área int. Piso (m ²)	26.05	Porcelanato 0.6 x 0.6m, Gris claro	21.26	0.5	Factor Reflectancia ponderado (R)	0.59
Área int. Techo (m ²)	26.05	Baldosa acústica color blanco	21.26	0.8		
Área ventana (m ²)	22.015	Vidrio templado incoloro 10mm	17.97	0.11		
Área int. Muros (m ²)	45.12	Muro Blanco	36.83	0.8		
	1.39	Puerta Baño Madera oscura	1.14	0.1		
	1.89	Mampara ingreso	1.55	0.11		

Cálculo de ángulo de luz Visible θ	Ang.	Longitud obstrucción (m)	%
Longitud de ambiente		10.81	100
Edificación Vecina A de h=32.50m	38	4.61	42.6
Edificación Vecina B de h=26.00m	40	6.2	57.3
-	0	0	0.00
-	0	0	0.00
-	0	0	0.00
Ángulo de luz visible promedio		39.15	°

2 Se tiene:	
Verificar que cumple el valor mínimo	-Las aberturas translúcidas al exterior están colocadas hacia ambos frentes exteriores y además, están uniformemente distribuidas a lo largo de ambos frentes , lo cual representa un escenario favorable para el ingreso de luz natural.
	-Dado el ancho de la calle exterior , la cercanía del edificio al otro lado de la acera y la ubicación del ambiente en un piso muy bajo , el ángulo de luz visible al exterior (θ) es de solo 30° , sin embargo, la gran cantidad de superficie translúcida en ese ambiente permiten un alto ingreso de luz natural.
	Se requiere normativamente:
Factor Luz Diurna mínimo normativo para sala de lectura	4 *en condiciones normales
¿Se aumentará el FLD en 25%?	NO 0 **
Factor Luz Diurna mínimo final	4.00 Sala de lectura con abertura en la cara más larga, (tipo de ambiente más aproximado).
**No aplica, al haber ventanas uniformemente distribuidas en la cara más larga, siendo un escenario favorable.	
Factor de Luz Diurna Obtenido	8.14
Con el diseño de ventana actual, el Factor de Luz Diurna alcanzado es mayor al mínimo valor requerido. Si Cumple	

Sala de Juntas (2do Nivel) **Cálculo y Solución**

Dimensiones	
- Largo (m)	4.53
- Ancho (m)	4.47
- Altura (m)	2.8
- Vano Altura (m)	Mampara de 4.47m (largo) x 2.80m (alto)
- Vano Ancho (m)	No tiene alfeizar. Sin embargo, únicamente para efecto de cálculo lumínico se considerará parapeto de 0.85 no translúcido.

Observaciones

(1) Para el cálculo FDL en la fachada vidriada (h=2.80m) se considerará que esta tiene un alfeizar no translúcido de 0.85m, al ser altura típica para el área de trabajo promedio. Esta área translúcida por debajo de 0.85m de la fachada vidriada se contabilizará como muro ciego blanco en el cálculo a continuación y se restará de la fachada translúcida.

(2) Cualquier otro vano interno que conduzcan a otro ambiente interior techado se considerará como muro ciego.

(3) Si se conoce el acabado de las puertas del closet, considerar el valor de reflectancia que corresponda.

(4) Este escenario representa un caso extremadamente desventajoso, con menor ángulo de luz visible al exterior (θ), por estar en un nivel muy bajo, necesitará un diseño interior con acabados de alto Factor de Reflectancia.

Ingresar los datos y calcular	Ecuación Normativa (a utilizar)	
	$Factor\ de\ Luz\ Diurna\ (promedio) = \frac{W}{A} \frac{T\theta}{1-R^2} = 3.71$	
	W	8.71
	R	0.62
	T	75.00%
	θ	33.35
	A	96.91 (m²)
	Área int. Piso (m²)	20.28
	Área int. Techo (m²)	20.28
	Área ventana (m²)	8.71
Área int. Muros (m²)	41.04	
	6.58	
	20.93	
	8.99	
	42.35	
	6.79	
	0.5	
	0.8	
	0.11	
	0.8	
	0.11	
	0.62	

Cálculo de ángulo de luz Visible θ	Ángulo	Longitud obstrucción (m)	%
Longitud de ambiente		4.47	100
Árbol	30	2.6	58.17
Edificación Vecina A, de h=32.50m	38	1.87	41.83
-	0	0	0.00
-	0	0	0.00
-	0	0	0.00
Ángulo de luz visible promedio		33.35	°

Verificar que cumpla el valor mínimo	Se tiene:	
	-Al tratarse de una Sala de juntas (Escritura, mecanografía, lectura, procesamiento de datos), sus medidas laterales son de 4.53m x 4.47m.	
	-Es un ambiente de lados casi iguales (1:1). La fachada vidriada al exterior está colocada en única cara lateral disponible hacia el exterior y distribuida a lo largo de ese frente, lo cual representa un escenario favorable para el ingreso de luz natural.	
	-No obstante, dada la presencia de un árbol en al exterior de ese ambiente y su ubicación en un piso muy bajo , hace que el ángulo de luz visible al exterior (θ) sea de solo 30° , afectando el ingreso de luz.	
	Se requiere normativamente:	
	Factor Luz Diurna mínimo normativo para sala de lectura	4 *en condiciones normales
	¿Se aumentará el FLD en 25%?	NO 0 **
	Factor Luz Diurna mínimo final	4.00 Sala de lectura
	**No aplica, al haber ventanas uniformemente distribuidas en la cara más larga, siendo un escenario favorable.	
	Factor de Luz Diurna Obtenido	3.71
Con el diseño de ventana actual, el Factor de Luz Diurna alcanzado es menor al mínimo valor requerido. No cumple.		

Aplicar solución, recalcular	3	
	Hay tres alternativas para alcanzar o superar el Factor de Luz Diurna a 4 como mínimo requerido:	
	-Cambiar el tipo de cristal propuesto en las ventanas a otro con mayor Factor de Transmisión Luminosa (ver ficha técnica del vidrio)	
	-Aumentar el tamaño del vano e incrementar el área translúcida de la ventana.	
	-Incrementar el factor de reflectancia de una de las superficies interiores.	
	(o las tres anteriores, de ser posible)	
	En este caso, como ejemplo, se optará por la primera alternativa, reemplazar el cristal por uno nuevo con FTL de 90% que permita un mayor ingreso de luz desde el exterior. En ese caso, el cálculo arrojará un Factor de Luz Diurna de 4.01, cumpliendo con el valor mínimo normativo solicitado. Se puede intentar probando acabados con mayor Factor de Reflectancia en otras superficies.	

Formato oficial de presentación de hoja de cálculo

La ecuación de cálculo lumínico se presentará en el siguiente formato para uso del equipo de diseño. Deben rellenarse los espacios en azul.

Nombre y/o código del ambiente

Dimensiones

- Largo (m)
- Ancho (m)
- Altura (m)
- Vano
- Altura (m)
- Vano Alfeizar (m)

Factor de Luz Diurna (promedio) = $\frac{W}{A} \frac{T \theta}{(1 - R^2)}$ = 2.69

W	2.83	(m ²)	R	0.68	T	0.90	θ	42.00	°	A	74.36	(m ²)	% Superficie	Factor Reflectancia por superficie	Factor Reflectancia ponderado
												23.01	0.4	0.68	
Área interior Piso (m ²)	0.00	-	0.00	0			17.11	Piso Laminado MDF	0.00	23.01	0.4				
Área interior Techo (m ²)	0.00	-	0.00	0			17.11	Tarrajeado-pintado blanco mate	0.00	23.01	0.8				
Área interior Techo (m ²)	0.00	-	0.00	0			37.30	Tarrajeado-pintado blanco mate	0.00	50.17	0.8				
Área Superficie traslúcida hacia el exterior en vanos (m ²)	0.00	-	0.00	0			2.83	Descripción tipo de vidrio	3.81	0.11					
Área Superficie traslúcida hacia el exterior en vanos (m ²)	0.00	-	0.00	0			0.00	-	0.00	0					
Área Superficie traslúcida hacia el exterior en vanos (m ²)	0.00	-	0.00	0			0.00	-	0.00	0					
Área Superficie traslúcida hacia el exterior en vanos (m ²)	0.00	-	0.00	0			0.00	-	0.00	0					
Área Superficie traslúcida hacia el exterior en vanos (m ²)	0.00	-	0.00	0			0.00	-	0.00	0					
Área Superficie traslúcida hacia el exterior en vanos (m ²)	0.00	-	0.00	0			0.00	-	0.00	0					

Cálculo de ángulo de luz Visible θ	Ángulo	Longitud obstrucción (m)	%
Longitud de ambiente		2.9	100
Edificación Vecina de h=22.56m	42	2.9	100.0
-	0	0	0.00
-	0	0	0.00
-	0	0	0.00
-	0	0	0.00
Ángulo de luz visible promedio	42.00		

Se requiere normativamente:

Factor Luz Diurna mínimo normativo (Estándar)	0.8
¿Se aumentará el FLD en 25%?	SÍ 0.2
Factor Luz Diurna mínimo requerido	1.00

Factor de Luz Diurna promedio alcanzado **2.69**

Insertar el Nombre o código del ambiente.

Insertar las dimensiones del espacio correspondiente

Insertar los diferentes ángulos de luz que se formen en la abertura. Insertar descripción, ángulo y longitud de obstrucción de hasta 05 ángulos (de 05 obstáculos). El ángulo promedio se irá arrojando automáticamente por fórmula.

Primeros elementos para la ecuación de cálculo de Factor de Luz Diurna. No rellenar el Factor de Reflectancia (R), el cual se obtendrá al llenar la columna *Factor de Reflectancia por Superficie*.

Los primeros renglones son ejemplos de ingreso de datos en el cuadro de cálculo. Se pueden colocar hasta las 06 superficies de acabado que tengan la mayor superficie (de ser el caso).

Paralelamente, junto con cada superficie, se añadirá e la descripción del acabado y su respectivo Factor de Reflectancia.

Es importante indicar el Factor de Luz Diurna normativo requerido para ese tipo de ambiente. Indicar si sobre ese valor, se debe aumentar en 25% (abertura en ventana corta).

El valor final se obtendrá automáticamente según la ecuación.

8. Procedimiento para verificar el cumplimiento por los revisores de proyectos

Los revisores encargados deben conocer el uso que tendrá el espacio diseñado, el cual debe estar claramente expresado en los planos de anteproyecto y/o proyecto. Asimismo, se debe conocer el Factor de Luz Diurna promedio mínimo que se requiere en dicho espacio, según el uso para el que ha sido diseñado, consignado en el **Anexo 01**. La información del presente capítulo debe complementarse con aquella indicada en el capítulo 4 de este documento.

Respecto al diseño interior de dicho espacio evaluado, verificar que se cuente con la siguiente información:

- Comprobar el área de las superficies internas del ambiente en evaluación.
- Verificar el Factor de Reflectancia de los acabados utilizados en el proyecto: los materiales del espacio evaluado en paredes piso y techo. Si se trata de varios tipos de acabados en colores y/o texturas en los diferentes planos interiores, se obtendrá un promedio de ese ambiente interior. Es deseable que las fichas técnicas de los acabados utilizados indiquen el Factor de Reflectancia del producto y sean adjuntas como anexos en la memoria descriptiva u otro documento similar. Caso contrario, si el proveedor no dispone de esta información, se utilizará la tabla con los valores adjunta en el entregable de Factor de Reflectancia, según el tipo de acabado y colores. Ver el subcapítulo 4.1.
- Verificar el Factor de Transmisión Luminosa y la reflectancia del cristal empleado. Bajo el mismo criterio, la ficha técnica del vidrio empleado debe estar adjunta dentro de los entregables. Ver el subcapítulo 4.2.

- Revisar el área de la superficie translúcida de la abertura, considerando únicamente para el cálculo el cristal por encima de 0.85m de alto. Ver el subcapítulo 4.3.
- Revisar los documentos que muestren los volúmenes del entorno exterior y que obstruyan el paso de luz al interior del proyecto (plano de ubicación, plot plan, fotografías, registros en Google Earth, entre otros, según lo indicado en el subcapítulo 4.4. Será importante conocer la altura de dichos elementos. Estos volúmenes pueden ser otras edificaciones en el entorno, vegetación circundante, mobiliario urbano de tamaño relevante.
- Confirmar el uso final que tendrá el espacio interior evaluado. Ver el subcapítulo 4.5.
- La proporción de medidas de las caras laterales y tridimensionales del ambiente evaluado. Comprobando que se trate de un espacio preferentemente de medidas regulares en planta y localizando en el las aberturas al exterior que permitan el ingreso de luz natural. Si se trata de un espacio de forma muy compleja, se reitera que quedará a criterio del revisor encargado solicitar simulación en software solo en casos atípicos u otro tipo de sustento. Ver el subcapítulo 4.6.

- Confirmar el valor de Factor de Luz Diurna mínimo requerido a alcanzar según el estándar de requerimientos mínimos del Anexo 01. Ver el subcapítulo 4.7.

En todos estos casos, si se trata de una entrega a nivel de anteproyecto, estos valores pueden ser tentativos, no obstante, para la entrega a nivel de proyecto, el revisor debe verificar que estos valores se mantengan, o de lo contrario, si estos varían.

Todos los datos mencionados deberán ser presentados en el formato de cálculo indicado en el capítulo 7, el cual deberá ser entregado en la memoria descriptiva o documento sustentatorio. El revisor corroborará la correcta aplicación de los valores indicados por el proyectista en la fórmula y que esta cumpla con el valor mínimo exigido en el Anexo 01.

Bibliografía

Australian National Construction Code. *Part 2.4 Health and amenity. V2.4.4 Verification of suitable natural light*. 2019 Amendment 1.

Website: <https://ncc.abcb.gov.au/editions/2019-a1/ncc-2019-volume-two-amendment-1/section-2-performance-provisions/part-24-health>. Consultado en abril 2022.

Comité Español de Iluminación (CEI) et al. 2005. *Guía Técnica Aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios*. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía - IDAE. Madrid. Website: https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10055_GT_ajprovechamiento_luz_natural_05_ff12ae5a.pdf

Consultado en junio de 2022.

Compliance Consultants. *What is Average Daylight Factor (ADF)?*

Website: <https://energycompliance.com.au/daylight-modelling/> Consultado en marzo 2022.

Cuerva, E. 2007. *Requerimientos de fachadas acristaladas en edificios de oficinas según el nuevo Código Técnico de la Edificación*.

Proyecto/Trabajo final de carrera. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona.

Website: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/4129/Anexos%20II.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Consultado en marzo 2022.

Danpal Light Architecture. *Environmental - El Ahorro De Energía De La Iluminación Natural*

Website: <https://danpal.com/environmental/el-ahorro-de-energia-de-la-iluminacion-natural/>

Consultado en junio de 2022

Garcia Dubús, L. 2013. *Relación entre Reflectancia y Reflectividad*. Presentación.

Website: <https://es.slideshare.net/oficinageomatica/reflectancia-y-reflectividad>.

Consultado en febrero 2022.

Garcia Fernandez, J, Boix, O. *Fotometría. Magnitudes y Unidades de Medida*. Recursos. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona.

Website: <https://recursos.citcea.upc.edu/llum/fotometria/magnitud.html>.

Consultado en febrero 2022.

Iluminica. *Aprovechando la Reflectancia*.

Website: <http://iluminica.com/aprovechando-la-reflectancia/>

Consultado en marzo 2022.

Cálculo de iluminación natural en edificaciones

Ilutop. *Lúmenes ¿qué son y para qué sirven?*

Website: <https://www.ilutop.com/blog/es/que-son-los-lumenes-definicion/>

Consultado en febrero 2022.

Lechner, N. 2015. *Heating Cooling, Lighting. Sustainable Design Methods for Architects*. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.

Littlefair, Paul. 2010. *Designing with Daylight and Solar Shading. Principles, Strategies & Technologies*.

Carbon Trust

Website:

http://www.switchnewmedia.com/clients/Carbon_Trust/8_Paul_Littlefair/thumbs.html#

Consultado en abril 2022.

MVCS, 2019. *Norma Técnica EM.010 Instalaciones Eléctricas Interiores del Reglamento Nacional de Edificaciones*. Resolución Ministerial 083-2019-Vivienda. Lima.

Website: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/297936/RM_-_083-2019-VIVIENDA.pdf

Consultado en abril 2022.

RAE. 2022. *Lumen*. Diccionario de la Real Academia Española.

Website: <https://dle.rae.es/lumen>

Consultado en marzo 2022.

The University of Bath, *Daylight Factor and Calculations*.

Website:

<https://people.bath.ac.uk/zw305/ROOM/daylightfactortab.php>

Consultado en marzo 2022.

Konica Minolta. *Luminancia vs. Iluminancia*

Website: <https://sensing.konicaminolta.us/mx/blog/luminancia-vs-iluminancia/>

Consultado en febrero 2022.

Seiscubos.2020. *Métodos de análisis estáticos. Factor de Luz Diurna*

Website: <https://www.seiscubos.com/conocimiento/metodos-de-analisis-estaticos>

Consultado en febrero 2022.

Wieser, M., Diaz, L. 2020. *Catálogo de Módulos Pronied. Estudio Bioclimático Y Lumínico, Región Costa*. Servicio de consultoría para la elaboración de expedientes técnicos de arquitectura y especialidades de catálogo de escuelas modulares. Contrato n°5-2019-minedu/vmgi-pronied conv-proc-2-2018-Minedu/ue 108-1. FD Arquitectos. Lima.



PERÚ

Ministerio
de Vivienda, Construcción
y Saneamiento

Av. República de Panamá 3650,
San Isidro - Lima - Perú
(511) 211 - 7930



ViviendaPeru



viviendaperu



MVCS Prensa



viviendaperu



MinisterioVivienda

www.gob.pe/vivienda