



---

ANÁLISIS COMPARATIVO DE ILUMINACIÓN NATURAL  
BAJO SIMULACIÓN INFORMÁTICA  
LUZ CENTRAL



## Contenido

<b>1</b>	<b>Introducción: Luz Natural y Patrimonio Histórico</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Objetivo</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Estado de la Cuestión</b>	<b>5</b>
3.1	Iluminación Natural y Patrimonio Histórico	5
3.1.1	Espacios con iluminación específica	6
3.2	Acondicionamiento Lumínico	6
3.2.1	Comisión Internacional de Iluminación	7
3.2.2	Agencia Internacional de la Energía	9
3.2.3	Sociedad de Ingenieros de Iluminación de Norte América	11
3.2.4	Colegio de Ingenieros de Instalaciones de la Edificación del Reino Unido	12
3.2.5	Otros estudios	13
3.3	Herramientas de Simulación Informática	14
<b>4</b>	<b>Metodología</b>	<b>17</b>
4.1	Factores que determinan la distribución de luz en el espacio	17
4.2	Análisis de Iluminación Natural	17
4.2.1	Variación de las condiciones exteriores	18
4.2.2	Fiabilidad de las mediciones	19
4.2.3	Complejidad de los espacios reales	19
4.3	Modelo de cálculo: Parámetros y variables	19
4.3.1	Parámetros de Diseño	19
4.3.2	Variables de Cálculo	20
4.4	Programa informático de cálculo	23
4.4.1	Modelización en Lumen Micro 2000	24
4.4.2	Modelos de simulación: caracterización	25
4.5	Medida y Toma de datos	41
4.5.1	Medida del Factor de Iluminación Natural	41
<b>5</b>	<b>Materiales</b>	<b>43</b>
5.1	Validación de la herramienta de cálculo	43
5.1.1	Densidad de puntos de cálculo	44
5.1.2	Variación temporal	45
5.1.3	Variación de la Orientación	47
5.2	Variaciones sobre un modelo geométrico sencillo	48
5.2.1	Variaciones de 1º Orden	48
5.2.2	Variaciones de 2º Orden	57
5.3	Variaciones sobre la Linterna	92
5.3.1	Linterna de referencia	93
5.3.2	Linterna de lado a lado	110
<b>6</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>121</b>
6.1	Variaciones sobre un modelo geométrico sencillo	121
6.1.1	Variaciones de 1º orden	121
6.1.2	Variaciones de 2º Orden	122
6.2	Variaciones sobre la Linterna	124
6.2.1	Linterna referencia	124
6.2.2	Linterna lado a lado	125
6.3	Conclusiones Generales	126
6.4	Futuras líneas de trabajo	127

<b>7 Anejos</b> .....	<b>129</b>
7.1 IEA-SHC: Tareas .....	129
7.1.1 Task 21 y Task 31: Instituciones y Empresas Participantes .....	130
7.2 Proyectos de Investigación en Hong-Hong .....	133
7.3 Bibliografía .....	135
7.3.1 Libros.....	135
7.3.2 Artículos.....	136
7.3.3 Congresos.....	136
7.4 Simulaciones en Lumen Micro: Salida de Datos .....	139

## 1 Introducción: Luz Natural y Patrimonio Histórico

Una de las facetas del conocimiento del Patrimonio Histórico que cada vez tiene más interés es la de los aspectos relacionados con el lenguaje perceptivo. No cabe duda que la entrada de iluminación natural es un condicionante clave en la percepción del espacio arquitectónico, en general, y particularmente en el espacio patrimonial.

La luz natural cambia constantemente: desde el amanecer al crepúsculo, de estación en estación. La luz nos desvela la forma, la superficie y el color; desvela nuestra percepción individual del mundo y nos proporciona un lenguaje común.

*“Es la luz la que produce sensación de espacio. El espacio es aniquilado por la oscuridad. La luz y el espacio son inseparables. Si la luz es suprimida, el contenido emocional del espacio desaparece, haciéndose imposible de percibir. En lo oscuro no hay diferencia entre la valoración emocional de una sima y de un interior fuertemente modelado.”(Gideon, S. 1992)*

De todos los problemas ligados al confort en los edificios, los que tienen que ver con la iluminación natural son de gran complejidad y dificultad de tratamiento.

En la Historia de la Arquitectura sobresalen aquellos edificios en los que la habilidad para disponer los espacios interiores y las aperturas al exterior han dado lugar a un equilibrio luminoso ambiental capaz de emocionarnos. La evolución de los sistemas constructivos, de la envolvente de los edificios, era consecuencia de la relación de los espacios interiores con el exterior. Las condiciones ambientales interiores están íntimamente ligadas a su envolvente.

En el análisis de la historia de la iluminación de M. Major, se expone que la luz artificial empezó a estar disponible de forma habitual en el ámbito doméstico a partir de los primeros años del siglo XX. Siendo aún más reciente que la iluminación se haya adecuado a casi todas las tareas visuales. Hasta entonces, la iluminación de los espacios interiores dependía de la luz natural y su manipulación.

Actualmente, con las exigencias de dominio de los parámetros de confort, la iluminación de los espacios se ha dejado en manos de la iluminación artificial, una fuente constante y fácilmente manipulable, produciéndose un cierto abandono en el dominio y la manipulación de la envolvente y las cualidades lumínicas del espacio interior.

La cualidad ambiental de los espacios arquitectónicos, por lo tanto, es uno de los valores de los edificios patrimoniales. En este sentido, la recuperación de las cualidades lumínicas de los espacios arquitectónicos precisa de un análisis adecuado. Es preciso conocer el ambiente lumínico para poder intervenir sin destruirlo al implementar una iluminación artificial inadecuada.

Sin embargo, las mediciones de iluminación en edificios patrimoniales tienen serios inconvenientes de implementación: la variación del tiempo atmosférico, que provoca diferentes luminosidades a lo largo del día, mes y año; dificultad para la colocación y mantenimiento de las células sensoras... Por lo tanto, la simulación es una herramienta adecuada para predecir el comportamiento de los espacios considerados así como para determinar los puntos donde son necesarios obtener medidas reales o definir modos de actuación ambiental.

La simulación es una alternativa viable, tanto para el conocimiento del patrimonio histórico como para la asistencia en la toma de decisiones de rehabilitación. Las simulaciones de iluminación son una herramienta valiosa para la rehabilitación de espacios patrimoniales, no sólo para la implementación de un sistema de iluminación artificial adecuado, sino también para cualificar el espacio, considerar el ahorro energético y controlar ambientalmente un espacio.

Tal como se expone en las “Normas de conservación preventiva para la implantación de sistemas de iluminación en monumentos y edificios históricos.”:

*“La implantación de un sistema de iluminación artificial en el interior o exterior de edificios históricos y monumentos exige observar una serie criterios y normas que hagan compatible esta instalación con la conservación de dichos bienes. Independientemente del objetivo de la instalación (puesta en valor de las partes ornamentales y obras de arte,*

*iluminación general, iluminación exterior, etc.) y sus calidades estéticas, el impacto de su implantación, deberá ser compatible con los requerimientos de conservación preventiva.”*

Por lo tanto, es necesario conocer el comportamiento de la luz natural en el interior de los edificios para que ésta pueda ser compatible con la conservación de los mismos. El caso de los museos es, además, de especial atención ya que la incidencia de la luz natural en el espacio es fundamental para la restauración y conservación de las obras de arte contenidas en el mismo: pintura, dorados y escultura.

Como elemento de entrada de luz natural, el factor que va a determinar su distribución en el interior de un espacio es el hueco, siendo de gran influencia su tamaño. Conocer la influencia que tiene las características de los huecos sobre la iluminación interior es fundamental para recuperar la relación entre el ambiente interior y exterior, así como para controlar el ambiente interior que diseñamos. Más aún si se aplica en proyectos con altas exigencias de iluminación, tan específicas como las correspondientes a los museos y a otros edificios de exposición del Patrimonio Histórico.

## 2 Objetivo

En la iluminación natural de un espacio intervienen tres factores fundamentales: la fuente emisora de luz, el espacio receptor y las características de los elementos que filtran la luz: los huecos. En los edificios patrimoniales se conoce la fuente emisora y las características espaciales del receptor. De lo que no se tiene conocimiento es de la distribución de la luz natural y del efecto que producen sobre la misma las características de los huecos abiertos en su envolvente.

El objetivo de este trabajo de investigación es estudiar el efecto que produce sobre la distribución de luz natural en el interior de un espacio la variación de las características de los huecos, utilizando el concepto de factor de iluminación natural, definido más adelante.

Para lograr este objetivo general, de gran extensión y complejidad, debido a la extensión y complejidad de los espacios patrimoniales, se establecen varios objetivos más concretos para este trabajo de investigación:

- Validación de la herramienta de simulación informática elegida.
- Estudiar la variación en la distribución de la luz natural en un modelo espacial sencillo cuando se modifican las características de entrada de luz.
- Estudiar la influencia de la incorporación de una linterna y sus variaciones sobre la distribución de la luz natural en el modelo espacial estudiado.





### 3 Estado de la Cuestión

Este apartado se centra en tres temas fundamentales:

1. Relación entre la Iluminación Natural y el Patrimonio Histórico
2. Acondicionamiento lumínico: Relación entre hueco y espacio iluminado
3. Herramientas de simulación informática de iluminación natural

Para documentar estos tres puntos se ha procedido a una búsqueda bibliográfica en las siguientes bases de datos:

- Catálogo de la Biblioteca de la Universidad de Sevilla
- Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED)
- Social Sciences Citation Index (SSCI)
- Arts & Humanities Citation Index (A&HCI)
- Conference Proceedings Citation Index- Science (CPCI-S)
- Conference Proceedings Citation Index- Social Science & Humanities (CPCI-SSH)

En ámbitos científicos los documentos encontrados sobre iluminación natural se enfocan desde un punto de vista de ahorro energético; en ámbitos patrimoniales, los escasos estudios que se dedican a la iluminación natural no se dirigen a su cuantificación, sino a su calificación, por lo que no son herramientas objetivas que puedan utilizarse para caracterizar lumínicamente un espacio patrimonial.

Los documentos encontrados sobre acondicionamiento lumínico están dirigidos al aprovechamiento de la luz natural para complementar la iluminación artificial en grandes consumidores de iluminación eléctrica como los edificios de oficinas, centros comerciales, escuelas, bibliotecas y museos.

Asociadas a la evolución de los estudios de iluminación natural, se han desarrollado diversas herramientas de simulación informática. Estas herramientas se han validado y comparado entre sí para determinar la fiabilidad de sus resultados así como sus algoritmos de cálculo.

A continuación expongo el panorama del conocimiento sobre los temas antes citados.

#### 3.1 Iluminación Natural y Patrimonio Histórico

Sabemos que la arquitectura es el resultado de una tradición constructiva, la historia, la cultura, el clima... la arquitectura nace como respuesta a unas necesidades locales.

La relación con la luz natural, actualmente más por necesidades fisiológicas que simbólicas, está casi siempre en el origen de las opciones compositivas que determinan las diferentes soluciones formales, ya sean inconscientes y fortuitas o conscientes y estudiadas. Aunque aparentemente sólo son soluciones formales o figurativas, contienen implicaciones físicas y técnicas que provocan cambios en el ambiente interior.

El desarrollo tecnológico ha permitido controlar las condiciones interiores de los espacios de forma artificial, observándose un progresivo abandono de las soluciones constructivas de acondicionamiento natural.

Las escasas publicaciones encontradas que relacionan iluminación y espacios patrimoniales van enfocadas principalmente a la instalación de iluminación artificial. Sin embargo, empiezan a realizarse estudios de iluminación natural relacionados con estos espacios o sus características, como se ilustra en los siguientes casos:

En el artículo de F. Ruggiero, se realizan un análisis, en clave de confort visual, de las aperturas de huecos empleadas tradicionalmente en la arquitectura mediterránea y en la arquitectura islámica. Dos soluciones distintas para condiciones climáticas parecidas, que producen condiciones lumínicas interiores diferentes.

En otros casos, como el estudio de S. Al-Maiyah, la luz natural se convierte en la principal característica de entornos patrimoniales como el entorno urbano de la zona medieval de El Cairo, ya que caracteriza los espacios urbanos a través de las reflexiones en las paredes de sus límites. Se estudia el impacto de las intervenciones propuestas en el viejo Cairo en la percepción visual y en la identidad de los edificios patrimoniales seleccionados así como de los espacios urbanos de su entorno, de forma que se proponen medidas para conseguir un determinado empleo de la luz natural y así conseguir un desarrollo sostenible en el área de intervención y mantener la identidad de la vieja ciudad.

Además de los citados, en el panorama actual paulatinamente se encuentran más estudios que relacionan la arquitectura tradicional con su entorno en términos de estrategias de iluminación natural, de su aprovechamiento como herramienta de eficiencia energética y de arquitectura bioclimática.

Dentro del grupo de investigación TEP 130 (Arquitectura, Patrimonio y Sostenibilidad: Acústica, Iluminación y Energía) encontramos varios trabajos de investigación donde se estudian la entrada de luz natural en casos concretos, como la Iglesia matriz de Nuestra Señora de la Concepción (Ouro Preto, Brasil), la Capilla de las Capuchinas Sacramentarias (Tlalpan, México) o la iglesia Notre Dame du Haut (Ronchamp, Francia)

### 3.1.1 Espacios con iluminación específica

Debido a los requerimientos de conservación y visualización de los objetos que contienen, la iluminación de los museos, bibliotecas, galerías de arte y exposiciones temporales presentan unas características muy específicas.

En la guía de iluminación de museos y galerías de arte (CIBS 1980) se dedica un capítulo al diseño de sistemas de iluminación natural. Sólo se apunta cómo controlar la entrada de la luz, cenital o lateral, pero se centra en la iluminación artificial como base de la iluminación de estos espacios.

Tal como describe M. Luxan, la mayoría de las obras arquitectónicas reconocidas como patrimonio histórico fueron proyectadas y ejecutadas en función de su percepción bajo la luz natural. Y es esa iluminación la que caracteriza el espacio interior. Luxan resalta cómo la implantación de una instalación de iluminación artificial desvirtúa estos espacios al modificar sus condiciones lumínicas.

En las I Jornadas de Iluminación de Monumentos (ICRBC 1992) se destaca que hasta que la luz eléctrica no estuvo disponible, el papel dominante en la arquitectura estaba a cargo de la luz natural. *“Y fue con esta herramienta con la que se consiguieron efectos impresionantes de iluminación natural, con el simple juego de luz y de sombras, de contrastes y de direcciones de la luz. La luz eléctrica no hizo sino posibilitar la arquitectura de la luz”*.

C. Balocco proporciona el diseño de iluminación natural de la iglesia medieval *Palagio di Parte Guelfa* en Florencia para ser usado como biblioteca pública. Estudia la mejora de la luz natural, su disponibilidad y el confort visual que se obtiene con los sistemas de control de la luz y el nuevo diseño interior de forma que garanticen el confort térmico de los ocupantes, preserve los libros, documentos y los frescos presentes y además garanticen su mantenimiento y exhibición. Además, al ser un edificio patrimonial debe garantizar su conservación y mejora sin afectar a su estructura y aspecto arquitectónico.

En el seno del grupo de investigación TEP 130, O. Muñoz, en su tesis doctoral, estudia cómo la iluminación natural ha influido en el diseño de los museos españoles de los años ochenta y noventa.

## 3.2 Acondicionamiento Lumínico

Así como el acondicionamiento térmico y el acondicionamiento acústico es un punto de partida, regulado normativamente mediante unos niveles mínimos de exigencia, que se complementa con una instalación térmica o acústica, para poder realizar una instalación de iluminación artificial se debería partir de las condiciones lumínicas del espacio, determinadas por un acondicionamiento lumínico del mismo.

En el panorama internacional, destacan varias instituciones y programas de investigación relacionadas con la iluminación natural. La Comisión Internacional de Iluminación (CIE<sup>1</sup>) es un organismo sin fines lucrativos de cooperación e investigación internacional sobre iluminación natural y artificial.

El programa “*Solar Heating & Cooling*”<sup>2</sup> (SHC) creado por la Agencia Internacional de la Energía (IEA) representa el marco internacional que ampara todos los estudios relacionados con la energía solar, incluido su aspecto lumínico.

La Sociedad de Ingenieros de Iluminación de Norte América (IESNA<sup>3</sup>) recopila y difunde información sobre iluminación, fundamentalmente en sus aspectos técnicos y sobre iluminación artificial, aunque parte de sus estudios se relacionan con la iluminación natural.

En el Reino Unido, la Sociedad de la Luz y la Iluminación (LLS<sup>4</sup>), creada dentro de la CIBSE<sup>5</sup>, enfoca sus actividades en el conocimiento de la luz natural y artificial y su aprovechamiento, siendo un miembro activo de la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE)

En la búsqueda documental no se han encontrado artículos enfocados hacia el acondicionamiento lumínico de los espacios, que estudien cómo modificar las características del hueco para optimizar la entrada de luz, ni se han encontrado estudios comparativos que relacionen hueco, espacio iluminado y distribución de luz natural.

Dentro del grupo de investigación TEP 130 existen varias publicaciones sobre la iluminación natural y su cuantificación: C. Barros, junto con J. Navarro y J.J. Sendra proponen un método de diseño y cálculo de la iluminación natural, para poder cuantificarla, así mismo J. Navarro y J.J. Sendra han publicado varios artículos sobre la determinación de la iluminación producida por diferentes tipos de huecos.

Bajo el amparo de las investigaciones de la CIE y de la IEA-SHC se recogen múltiples estudios a lo largo de todo el mundo relacionados con diversos aspectos de la iluminación natural y de la luz del día.

### 3.2.1 Comisión Internacional de Iluminación

La Comisión Internacional de Iluminación - también conocido en todo el mundo como CIE de su título francés, la Comisión Internationale de l'Eclairage - se dedica a la cooperación y el intercambio de información sobre todas las cuestiones relativas a la ciencia y el arte de la luz y la iluminación, el color y la visión, Fotobiología y la tecnología de la imagen.

Con sólidas bases técnicas, científicas y culturales, la CIE es una organización independiente, sin fines de lucro que sirve a los países miembros sobre una base voluntaria. Desde su creación en 1913, la CIE se ha convertido en una organización profesional y ha sido aceptado como la representación de la mayor autoridad en la materia y, como tal, es reconocido por la ISO como un organismo de normalización internacional.

La CIE es una organización técnica, científica y cultural sin ánimo de lucro cuyos objetivos son:

- Proporcionar un foro internacional para la discusión de todas las cuestiones relativas a la ciencia, la tecnología y el arte en los campos de la luz y la iluminación y para el intercambio de información en estos ámbitos entre los países.
- Elaborar normas y procedimientos básicos de la metrología en el campo de la luz y la iluminación.

---

<sup>1</sup> Commission Internationale de l'Eclairage. <http://www.cie.co.at/>

<sup>2</sup> [www.iea-shc.org](http://www.iea-shc.org)

<sup>3</sup> Illuminating Engineering Society of North America. <http://www.ies.org/>

<sup>4</sup> Light & Lighting Society. <http://www.cibse.org/index.cfm?go=page.view&item=68>

<sup>5</sup> Chartered Institution of Building Services Engineers. <http://www.cibse.org>

- Proporcionar orientación en la aplicación de unos principios y procedimientos en el desarrollo de normas internacionales y nacionales en los ámbitos de la luz y la iluminación.
- Preparar y publicar normas, informes y otras publicaciones relacionadas con todas las cuestiones relativas a la ciencia, la tecnología y el arte en los campos de la luz y la iluminación.
- Mantener el enlace y la interacción técnica con otras organizaciones internacionales interesadas en cuestiones relacionadas con la ciencia, la tecnología, la normalización y el arte en los campos de la luz y la iluminación.

Estos objetivos abarcan temas como la visión, fotometría y colorimetría, que implican radiaciones naturales y artificiales en las regiones UV, las regiones visible e IR del espectro, y las aplicaciones que impliquen cualquier uso de la luz, en interiores y exteriores, incluidos los efectos ambientales y estéticos, así como los medios para la producción y el control de la luz y la radiación.

A partir de 1999 también se abarca la óptica, los aspectos visuales y metrologías de la comunicación, tratamiento y reproducción de imágenes, utilizando todo tipo de dispositivos de imágenes análogas y digitales, de medios de almacenamiento de imágenes y medios de comunicación.

Para lograr los objetivos marcados, la CIE se estructura mediante comisiones técnicas y organiza los temas de interés en divisiones o grupos de trabajo:

- Division 1: Vision and Colour
- Division 2: Measurement of Light and Radiation
- Division 3: Interior Environment and Lighting Design
- Division 4: Lighting and Signalling for Transport
- Division 5: Exterior Lighting and Other Applications
- Division 6: Photobiology and Photochemistry
- Division 7: Not allocated
- Division 8: Image Technology

A través de los miembros de la División las comisiones nacionales se mantienen informadas de las actividades realizadas por las comisiones técnicas. Éstas consisten en pequeños grupos de expertos reunidos para trabajar en los temas individuales.

### **3.2.1.1 DIVISIÓN 3: AMBIENTE INTERIOR Y DISEÑO DE ILUMINACIÓN**

La división 3 de la CIE se ocupa de los factores que influyen en la satisfacción de los ocupantes de un edificio en relación a su entorno, incluidos los efectos tanto de la luz natural como la luz artificial.

Sus objetivos son estudiar y evaluar estos factores para proporcionar una guía sobre los criterios de diseño más relevantes, para estudiar las técnicas de diseño (incluidos los cálculos más relevantes) de la iluminación interior de los edificios, e incorporar las conclusiones obtenidas y las de otras divisiones de CIE en las guías de iluminación de espacios interiores, en general, o de determinados tipos de espacios interiores con requerimientos específicos de iluminación.

La división 3 se organiza en diferentes comités técnicos:

- TC 3-25: Co-ordination of the IDMP<sup>6</sup> and its data
- TC 3-34: Protocols for Describing Lighting
  - Establecer un catálogo de aplicación de descriptores independientes de iluminación.

---

<sup>6</sup> Programa Internacional de Mediciones de Luz natural. <http://idmp.entpe.fr/>

- Proporcionar definiciones relevantes, específicas, objetivas que apoyen los conceptos asociados con la iluminación
  - Desarrollar un protocolo de medición para cada uno de los descriptores, para obtener protocolos que se usen por igual por investigadores, para recomendaciones y en el diseño
  - Preparar una estrategia y un plan de acción para la difusión y aplicación de estos protocolos y definiciones
- TC 3-36: The Use of Satellite Images to Derive Daylight Data Assessment
  - TC 3-37: Guide for the Application of the CIE General Sky
  - TC 3-39: Discomfort Glare from Daylight in Buildings
  - TC 3-42: Indoor work space application guide
  - TC 3-43: Determination of Discomfort Glare
  - TC 3-44: Lighting for Older People and People with Visual Impairment in Buildings
  - TC 3-45: Luminance Based Design Approach
  - TC 3-46: Research Roadmap for Healthful Interior Lighting Applications
  - TC 3-47: Climate-Based Daylight Modelling
  - TC 3-48: CIE standard method of UF table calculation for indoor luminaries
  - TC 3-49: Decision Scheme for Lighting Controls for Tertiary Lighting in Buildings

### 3.2.2 Agencia Internacional de la Energía

En 1977 la Agencia Internacional de la Energía (AIE) creó el Programa “*Solar Heating & Cooling*” (SHC) para investigar, desarrollar y mostrar nuevas tecnologías que permitan aprovechar la energía solar, incluida la iluminación natural, y así reducir el consumo energético de los edificios. Para llevar a cabo los objetivos del Programa se han iniciado 43 tareas (Task), de las cuales se han completado 34. Además de las tareas, se han formado diferentes grupos de trabajo.

Aunque todas las tareas están dirigidas al máximo aprovechamiento de la energía proveniente del sol, algunas de estos trabajos van encaminados a conocer la cantidad de luz natural que se puede aprovechar para reducir el consumo de iluminación artificial en grandes consumidores como edificios de oficinas y centros comerciales; y otras de ellas se centran en la simulación energética, donde se incluye la **simulación de luz natural** en edificios.

De todas las tareas realizadas, las relacionadas con la iluminación natural y con la simulación informática de luz natural son:

- Task 12 - Building Energy Analysis and Design Tools for Solar Applications<sup>7</sup>
- Task 21 - Daylight in Buildings<sup>8</sup>
- Task 31 - Daylighting Buildings in the 21st Century<sup>9</sup>

#### 3.2.2.1 TASK 12: BUILDING ENERGY ANALYSIS AND DESIGN TOOLS FOR SOLAR APPLICATIONS (1989-1994)

Mientras las tareas anteriores del programa SHC se centran en el desarrollo de nuevas tecnologías, la Tarea 12 se centra en el análisis y el diseño de métodos para asegurar un óptimo diseño e integración de energía solar, ya sea para calefacción, refrigeración o iluminación natural en edificios residenciales y comerciales. El objetivo de este proyecto son las **herramientas de simulación** para grandes acristalamientos, **diseño de iluminación natural** y atrios.

---

<sup>7</sup> <http://www.iea-shc.org/task12>

<sup>8</sup> <http://www.iea-shc.org/task21>

<sup>9</sup> <http://www.iea-shc.org/task31>

Los dos proyectos desarrollados se refieren a la mejora de la capacidad de análisis y de las herramientas de diseño mediante el desarrollo de algoritmos apropiados para simular la energía solar y su interacción con los edificios.

El primer proyecto desarrolla un programa informático de análisis integrado de iluminación natural y artificial llamado ADELINÉ. El segundo se refiere al desarrollo de algoritmos para simular la transferencia de calor en atrios.

Este grupo de trabajo es la base de varias investigaciones posteriores, centradas en programas de simulación de iluminación natural y en el estudio de las características lumínicas de los atrios, bastante extendidos como edificios de oficinas.

### **3.2.2.2 TASK 21: DAYLIGHT IN BUILDINGS (1995-1999)**

La Tarea 21 se centra en los **sistemas de iluminación natural** y las estrategias que pueden aplicarse en los edificios, de nueva construcción o existentes, con gran potencial de ahorro energético de iluminación artificial, como oficinas, escuelas, centros comerciales y edificios institucionales. Se han probado y evaluado los resultados de diferentes sistemas y estrategias mediante estudios en laboratorio, **simulaciones en ordenador**, y estudio de casos. La evaluación del rendimiento de estos sistemas se refiere a aspectos visuales, arquitectónicos y medioambientales, incluida la aceptación de los usuarios.

Los principales objetivos de la Tarea 21 fueron avanzar en las tecnologías de iluminación natural y promover el diseño consciente de los edificios en base al aprovechamiento de la luz natural. A través del estudio de casos se pudo ver la viabilidad de los diseños de iluminación natural en diversas condiciones climáticas haciendo hincapié en el rendimiento del sistema en relación al ahorro energético y a la aceptación del usuario.

Para lograr los objetivos del Grupo de trabajo se llevó a cabo la investigación en el marco de los siguientes cuatro subtareas:

1. La evaluación del funcionamiento de los sistemas de iluminación natural (Australia)
2. Sistemas de aprovechamiento de la luz natural mediante dispositivos de control de la iluminación artificial (Países Bajos)
3. Herramientas de diseño de iluminación natural (Alemania)
4. Estudios de casos (Dinamarca)

Las conclusiones de este grupo de trabajo se encaminan a implementar sistemas de ahorro energético. De ellas se desprende la dependencia de los sistemas de iluminación natural a las características climáticas y a su disposición en los edificios. Establece las **bases para el análisis de iluminación natural en modelos a escala, modelos informáticos y medidas in situ**.

Los estudios que realizan se basan en modelos reales, con su propia complejidad, por lo que las guías de diseño publicadas se enfocan a optimizar los elementos de iluminación natural existentes, modificando sus características materiales.

La documentación publicada sobre las cuatro subtareas nace de los trabajos de investigación realizados por las diferentes instituciones y empresas que participaron en la Tarea 21. En el Anejo se expone la relación de las instituciones y empresas que participaron, con sus respectivos representantes, ya que son la fuente de los artículos publicados.

### **3.2.2.3 TASK 31: DAYLIGHTING BUILDINGS IN THE 21ST CENTURY (2001-2005)**

Este grupo de trabajo trata de establecer la **iluminación natural como la iluminación principal** de los edificios del siglo 21 mediante la integración del factor humano en la aplicación de sistemas de iluminación natural y las estrategias de control de iluminación eléctrica y de entrada de luz.

Los objetivos para lograr el ahorro energético mediante la iluminación natural son:

- La determinación de la respuesta de los ocupantes al ambiente térmico y lumínico en los edificios utilizando sistemas de iluminación natural y sistemas de control.
- La integración de los sistemas de iluminación natural, iluminación eléctrica, la entrada de luz y los controles teniendo en cuenta la respuesta del ocupante con el fin de optimizar el ahorro de energía.

Un tercer objetivo sería la transferencia de los resultados a los arquitectos, propietarios y fabricantes.

El Grupo se centra en los edificios comerciales, tanto nuevos como ya existentes, incluidas las oficinas, venta al por menor, y edificios institucionales, como las escuelas. Para encontrar una solución a estas cuestiones, quince países y 24 instituciones de Europa, América del Norte, Asia, Australia y Nueva Zelanda han colaborado en la investigación en todo el mundo.

Para lograr los objetivos del Grupo de trabajo se llevó a cabo la investigación en el marco de los siguientes cuatro subtareas:

1. Perspectivas y Requisitos del usuario (Canadá)
2. Integración y optimización de sistemas de iluminación natural (USA)
3. Herramientas de diseño de iluminación natural (Alemania)
4. Red de Difusión y Grupos de apoyo al diseño (Francia)

Los trabajos realizados se dividen en varias áreas:

- Conceptos Generales
  - Publicaciones de iluminación natural
  - Iluminación natural y energías renovables
  - Sistemas de iluminación natural
  - Arquitectura y Clima
  - Sistemas de sombras y filtros de luz
  - Diseño de Iluminación natural
- Herramientas de Simulación
- Estudio de Casos
- Iluminación natural y Usuario
- Normativa

Dentro de este grupo de trabajo se encuentra la mayoría de los artículos publicados en las revistas científicas; principalmente dirigidas a la implementación de la luz natural para optimizar el ahorro energético en los edificios.

La documentación publicada sobre las cuatro subtareas nace de los trabajos de investigación realizados por las diferentes instituciones y empresas que participaron en la Tarea 31. En el Anejo se expone la relación de las instituciones y empresas que participan, con sus respectivos representantes, ya que son la fuente de los artículos publicados.

### **3.2.3 Sociedad de Ingenieros de Iluminación de Norte América**

La Sociedad de Ingenieros de Iluminación de Norte América (IESNA) es una autoridad técnica reconocida en el campo de la iluminación. Su objetivo es difundir el conocimiento sobre todos los aspectos de la buena práctica de la iluminación a sus miembros, a la comunidad de la iluminación, y a los consumidores, a través de una gran variedad de programas, publicaciones y servicios.

Es un foro para el intercambio de ideas y de información, y un vehículo para el desarrollo y el reconocimiento profesional de sus miembros. A través de comités técnicos, IES relaciona estudios, investigaciones y debates para orientar a los profesionales de la iluminación mediante recomendaciones consensuadas. La IESNA promueve el uso de las últimas tecnologías de iluminación bajo el enfoque del uso racional de la energía en todas las aplicaciones de la iluminación.

La sociedad edita la revista trimestral *LEUKOS*. Ésta es un punto de encuentro internacional donde publicar los desarrollos técnicos de interés actual o de permanente interés en la ingeniería y el diseño de la iluminación. La revista incluye cinco tipos de publicaciones: Resultados de Estudios Científicos, Avances Tecnológicos, Aspectos Técnicos de la Iluminación, Artículos tutoriales o revisiones críticas y Comunicaciones Breves.

### **3.2.4 Colegio de Ingenieros de Instalaciones de la Edificación del Reino Unido**

El Colegio de Ingenieros de Instalaciones de la Edificación (CIBSE) es el organismo normativo y una autoridad sobre la ingeniería de las instalaciones de la construcción. Ha publicado directrices y códigos reconocidos internacionalmente como una autoridad en la materia, y ha establecido criterios para las buenas prácticas en la profesión.

La institución habla desde la profesión y así es consultada por el gobierno británico sobre cuestiones relativas a la construcción, la ingeniería y la sostenibilidad. Está representado en los principales órganos y las organizaciones que rigen la construcción y las profesiones de ingeniería en el Reino Unido, Europa y todo el mundo.

#### **3.2.4.1 SOCIEDAD DE LUZ E ILUMINACIÓN**

La sociedad de Luz e Iluminación actúa como órgano profesional de Iluminación. Es una sociedad limitada con la garantía de estar bajo el control de CIBSE.

La sociedad realiza publicaciones sobre iluminación, tiene un programa de reuniones estacionales periódicas y de conferencias regulares sobre iluminación y actúa como un foco para los profesionales de iluminación. Es un punto de encuentro sobre iluminación entre todas las regiones CIBSE a lo largo del Reino Unido

Aunque se formó en 1999, la sociedad se basa en más de 90 años de experiencia. Su origen se remonta a 1909 cuando se formó la Sociedad de la Ingeniería de Iluminación (IES<sup>10</sup>) cuyo objetivo era estudiar las aplicaciones de la luz natural y artificial.

Los objetivos de la Sociedad son:

- Promover los beneficios de una buena iluminación
- Proporcionar un reconocimiento profesional de aquellos que están cualificados y/o tienen experiencia trabajando con la luz y la iluminación
- Establecer y promover las buenas prácticas en el diseño y la ingeniería de la iluminación en todas sus facetas
- Proporcionar un foro donde las personas interesadas en cualquier aspecto de la luz y la iluminación puedan reunirse
- Establecer y actualizar normas para la enseñanza de la luz y la iluminación
- Asesorar al gobierno y a otros organismos en la mejor uso y aplicación de la luz y la iluminación.

La Sociedad realiza una importante labor en el desarrollo de la normativa Británica, Europea e Internacional relacionada con su campo de conocimiento, y es uno de los principales activos de la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE). También proporciona asesoramiento a los departamentos gubernamentales en cuestiones como el Reglamento de la Construcción y la legislación sobre Salud y Seguridad del gobierno Británico.

La Sociedad edita la revista trimestral de investigación *Lighting Research & Technology* que tiene una reputación mundial como revista internacional de gran relevancia sobre la ciencia y la aplicación de tecnología de iluminación exterior e interior así como de la tecnología de lámparas y equipamientos y sus avances.

---

<sup>10</sup> Illuminating Engineers Society



### 3.2.4.2 GRUPO DAYLIGHT

El grupo Daylight<sup>11</sup> ofrece un foro para los miembros y no miembros de CIBSE para reunirse y discutir cuestiones relativas a la iluminación natural en los edificios. Las reuniones se celebran trimestralmente abordando un tema en cada reunión. En las últimas sesiones se han abordado las siguientes cuestiones:

- Garantizar la provisión de luz natural en los edificios
- Técnicas gráficas para el diseño de protecciones solares
- Uso de la luz natural
- Luz natural en las oficinas
- Iluminación natural bajo cielos soleados: una conversación ilustrada sobre la arquitectura vernácula en Oriente Medio incluyendo y nuevo método para predecir la iluminancia en el interior bajo cielos despejados.
- Diseño de Atrios
- Respuestas humanas a la luz natural
- Investigación Europea sobre Iluminación Natural
- Iluminación natural de Museos y Galerías de Arte

Si bien el grupo no tiene ningún objetivo formal, pretende fomentar en todo lo que pueda el conocimiento transversal de aquellos que trabajan en la Construcción para que tengan un acercamiento práctico y bien informado sobre el uso de la luz natural en los edificios.

### 3.2.5 Otros estudios

Los organismos internacionales CIE y AIE coordinan estudios e investigaciones realizados en diversos lugares del mundo a través comités nacionales, de este modo los objetivos de los organismos se desarrollan a nivel mundial mediante investigaciones locales.

#### 3.2.5.1 DEPARTMENT OF BUILDING & CONSTRUCTION, HONG-KONG

Los estudios de Danny HW Li, del Departamento de Edificación y Construcción<sup>12</sup> de Hong-Kong (Building energy research group) complementan a los realizados por la IEA en cuanto que relaciona la iluminación natural con sus implicaciones energéticas, estudia la energía solar para la implementación de sistemas activos así como reducir el consumo energético de los edificios, principalmente oficinas, con las características climatológicas y constructivas de Hong-Kong, habiendo realizado multitud de publicaciones.

Entre sus proyectos de investigación, los que se relacionan con la iluminación natural son:

- An Investigation of Daylighting Performance and Energy Saving in Daylit Corridors through Field Measurements.(7100193, Completed)
- An Investigation of Sky Luminance Distribution and External Obstruction on Daylighting Designs for High-Rise Building in Hong Kong. (7001278, Completed)
- Development of a Simple Graphical Approach Based on Daylight Coefficient Concept and the CIE 15 Standard Skies for Indoor Daylight Luminance Prediction. (9210020, Completed)
- Analysis of Light-pipe Systems for Deep Plan Office Buildings in Hong Kong. (7001567, Completed)
- Development and Validation of Design Tools for Estimating the Indoor Daylight Illuminance under the 15 CIE Standard Skies. (9050195, Completed)

---

<sup>11</sup> <http://www.cibse.org/index.cfm?go=groups.details&item=2>

<sup>12</sup> <http://www.cityu.edu.hk/cityu/dpt-acad/fse-bc.htm>

### 3.3 Herramientas de Simulación Informática

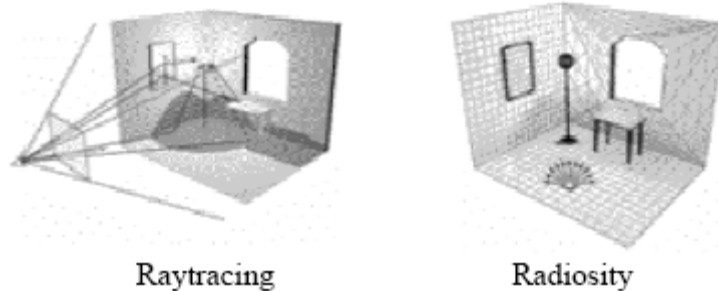
Las dos grandes instituciones referentes de la iluminación natural, CIE e IESNA, han desarrollado numerosos métodos de cálculo de iluminación reconocidos internacionalmente.

Con la aparición de los ordenadores personales, comienzan a aparecer numerosos programas informáticos capaces de desarrollar los largos y tediosos procedimientos de cálculo de iluminación, como los recogidos en la publicación "Daylight" de la CIE. Según el origen del programa, sus métodos de cálculo se adscriben a una u otra institución.

Los programas de simulación que calculan iluminación natural de mayor difusión bien se han creado específicamente para el cálculo de iluminación o bien son programas complejos de análisis energético donde la iluminación natural es una de sus componentes. Los programas específicos de iluminación cuentan con la ventaja de la menor cantidad y complejidad en la entrada de datos en el modelo de cálculo.

Los programas específicos simulan la distribución de luz proveniente de diversas fuentes, tanto luz artificial proveniente de las luminarias como luz natural introducida a través de las ventanas.

Tal como expone J. M. Estes en su artículo "Daylighting Prediction Software: Comparative Analysis and Application" estos programas usan algoritmos basados bien en el cálculo de la radiosidad total (transferencia de flujo), en un trazado de rayos físicamente muy precisos o bien en la combinación de ambos.



Estos programas, generalmente, son capaces de aportar informes muy completos de iluminación natural sobre cualquier tipo de espacio, bajo cualquier tipo de cielo y en cualquier ubicación geográfica, pero prácticamente no ofrecen información sobre sus bases e hipótesis de cálculo, así como no informan sobre las fuentes usadas para los datos de cálculo de las condiciones de cielo.

Ante esta situación, nacen las investigaciones de la Tarea 21, dentro del subprograma de "Herramientas de diseño de iluminación natural", donde se han estudiado y comparado diversos programas informáticos de iluminación natural de mayor difusión para comprobar su fiabilidad y ayudar a los diseñadores de iluminación a elegir los más adecuados.

El programa Lumen Micro<sup>13</sup>, junto con Radiance y Lightscape, ha sido objeto de varios estudios comparativos de los cuales se constata la fiabilidad de sus resultados así como la facilidad de uso del mismo.

H. Bryan en su artículo "Lighting/Daylighting Analysis: A Comparison" estudia los siguientes programas de análisis de iluminación natural:

- Lightscape 3.2
- Desktop Radiance 1.02
- Lumen Micro 2000
- FormZ RadioZity 3.80

<sup>13</sup> <http://www.lighting-technologies.com>

La comparación se enfoca hacia la precisión de los resultados así como hacia la facilidad de uso. Se realiza una comparativa entre las características de modelización, el formulario de iluminación natural, las propiedades de las superficies, los métodos de visualización, la salida de datos, la interfaz y el sistema de ayudas al usuario.

Entre sus conclusiones se extrae que el procedimiento de Radiance es el de mayor precisión, aunque no se aportan comparaciones específicas.

M. Susan Ubbelohde, en su artículo “Comparative Evaluation of Four Daylighting Software Programs” estudia los siguientes programas:

- Lumen Micro
- SuperLite
- Radiance
- Lightscape

El estudio se orienta hacia el diseñador, que es el que está interesado en conocer la cantidad y la distribución de la luz natural en un edificio que todavía no está construido. Evalúa el tiempo y la dificultad para aprender a manejar el programa, su integración con los paquetes CAD existentes, su capacidad para implementar geometrías complejas y el tiempo de ejecución del modelo en relación con la precisión de los niveles de iluminación calculados y la visualización.

Entre sus conclusiones, se reitera la precisión de cálculo de Radiance aunque su interfaz y la complejidad del programa requieren muchas horas de aprendizaje. Lightscape tiene muchas ventajas para arquitectos y diseñadores como la facilidad de uso y los datos de entrada junto con una relativamente rápida velocidad de visualización.

Además de los citados, existen otros artículos en los que se comparan distintos programas de iluminación natural para determinar cuál de ellos es el más idóneo por su fiabilidad y su facilidad de uso; estos artículos presentan sus resultados para unas condiciones muy determinadas de estudio, descartando la variable temporal mediante un análisis instantáneo.

I. Acosta en su artículo “Comparative Analysis of Lighting Simulation Software” realiza un análisis comparativo en base al concepto de Factor de Iluminación Natural, una expresión de los niveles de iluminación de forma relativa.

En su escrito estudia un modelo real sencillo bajo diferentes ensayos, variación de la orientación, variación temporal y variación geométrica, con los siguientes programas:

- Lightscape
- Radiance
- Lumen Micro
- Ecotect
- Dialux

Para confirmar la precisión de los programas de cálculo se comparan los resultados con los obtenidos con una maqueta real introducida en un cielo artificial rectilíneo, previamente calibrado.

De los resultados se concluye que Lightscape 3.2 presenta distribuciones lógicas de la luz natural y valores muy similares a los obtenidos bajo cielo artificial. Desktop Radiance 2.0 presenta distribuciones muy coherentes aunque los factores de iluminación natural difieren mucho de los obtenidos con la maqueta.

Lumen Micro 7.5 también ha dado buenas distribuciones de iluminación natural aunque los valores de factor de iluminación natural son más bajos que los obtenidos en la maqueta. Ecotect 5.5 no aporta distribuciones ni valores fiables de iluminación natural y Dialux 4.4 muestra factores de iluminación natural cercanos a los obtenidos en la maqueta y la distribución de iluminación es bastante coherente.



## 4 Metodología

Para poder estudiar las variaciones que se producen en la distribución de la luz natural en el interior de un espacio cuando se modifican las características de la entrada de luz, se debe fijar una metodología y procedimiento de cálculo, que seguirá los siguientes pasos:

- Determinar los factores que intervienen en la distribución de la luz en el espacio
- Estudiar las condiciones necesarias para realizar un análisis de iluminación natural.
- Determinar los Parámetros y las Variables
  - Establecer qué factores se mantienen constantes: Parámetros
  - Establecer las variables y los valores de cálculo
- Elegir un programa de simulación adecuado
  - Configurar el modelo de cálculo y sus variaciones
- Establecer un procedimiento para la medida y toma de datos
  - Obtención del Factor de Iluminación Natural

### 4.1 Factores que determinan la distribución de luz en el espacio

La cantidad de luz que se recibe dentro de un espacio depende de muchos factores. Algunos de estos parámetros, como la luminancia del cielo, no es algo que podamos controlar, sin embargo hay otros elementos que podemos manipular: las características de la envolvente de la habitación, el límite del espacio exterior con el interior, la entrada de la luz natural que inunda el espacio.

Los factores que determinan la distribución de luz en el interior de un espacio son:

- Condiciones exteriores
  - Localización: Latitud y altitud del lugar
  - Condiciones del cielo
- Condiciones interiores
  - Geometría del espacio interior: Superficie y volumen
  - Reflexión de sus paramentos
  - Orientación de la pared acristalada
- Condiciones de la envolvente: el hueco
  - Tamaño relativo de la ventana respecto al espacio interior
  - Forma del hueco
  - Disposición de la ventana en la pared
  - Manipulaciones tridimensionales: linternas, voladizos, viseras...
  - Filtros del hueco: persianas, celosías, veladuras, transparencia del vidrio

Aunque los factores que actúan son diversos, para poder realizar estudios que puedan ser extrapolados a otros estudios de iluminación natural se deben poner en relación con el espacio iluminado. En este sentido, el tamaño de la ventana se expresa como un porcentaje de la superficie de suelo, el coeficiente de forma como la relación entre las dimensiones del hueco, la posición del hueco en el paramento como la proximidad a los límites del mismo y las modificaciones tridimensionales como la relación entre sus dimensiones.

### 4.2 Análisis de Iluminación Natural.

A la hora de realizar diferentes estudios y análisis sobre la iluminación natural en los espacios arquitectónicos nos encontramos con las siguientes dificultades:

1. Variación de las condiciones exteriores
2. Fiabilidad de las mediciones
3. Complejidad de los espacios reales

Estos factores hacen que la toma de medidas *in situ* sea de una gran complejidad. Actualmente disponemos de herramientas informáticas cuya fiabilidad se ha contrastado con modelos reales y que nos permiten simular escenarios de cálculo de una forma rápida y sencilla, en contraposición a las medidas reales.

#### 4.2.1 Variación de las condiciones exteriores

El nivel de iluminación de un espacio se puede medir en términos absolutos, o en términos relativos. Como la luz natural cambia con los días, las horas y el clima, los datos absolutos resultan demasiado concretos y específicos; sin embargo los datos relativos permiten establecer unas relaciones más universales

Cuantificar y especificar la iluminación natural en espacios interiores en términos de Iluminancia y Luminancia es complicado debido a la variabilidad de la iluminación natural. En climas húmedos, donde las nubes cambian cubriendo el cielo durante todo el día frecuentemente, esta variabilidad puede predecirse sólo con datos estadísticos. Las condiciones locales como entornos industriales introducen sus propias complicaciones. En climas cálidos y secos, donde la luminancia del cielo despejado es bastante constante y se puede predecir la iluminación de la luz solar, la cuantificación de la iluminación natural tiene menos dificultad.

En regiones húmedas, como Gran Bretaña y Europa Noroccidental, se empezó a definir la iluminación natural interior en términos de Factor de Iluminación Natural (FIN). El Factor de Iluminación Natural es la porción de iluminación natural medida en el interior del espacio respecto a la iluminación natural medida simultáneamente en el exterior.

El concepto de Factor de Iluminación Natural tiene una gran ventaja: la constancia. El Factor de Iluminación Natural es una expresión de la eficiencia de la habitación como si fuera una instalación de iluminación. De esta manera, aunque la iluminación natural exterior pueda aumentar o disminuir, el Factor de Iluminación Natural permanecerá constante porque la iluminación del interior cambia con la iluminación del exterior.

##### 4.2.1.1 FACTOR DE ILUMINACIÓN NATURAL

Se define como la relación entre el nivel de iluminación exterior y los niveles medidos en el interior de un modelo. Este valor resulta considerablemente práctico, dado que en ocasiones, los niveles de iluminación exterior pueden ser muy variables, y de este modo se obtiene la proporción directa de los valores interiores entre los valores exteriores. Se expresa en porcentaje:

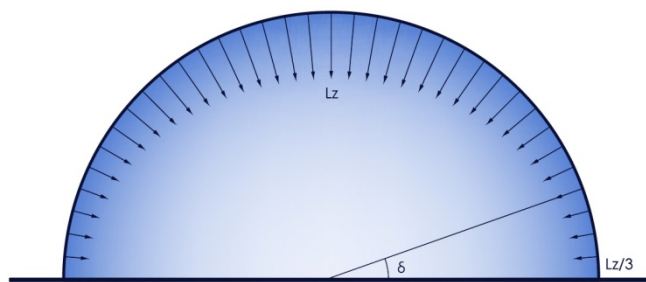
$$FIN = (E_i/E_e) \times 100$$

El factor de iluminación representa la parte de luz exterior que se percibe en el interior de un espacio, de forma que es una unidad adimensional, un coeficiente universal, internacionalmente reconocido por la CIE.

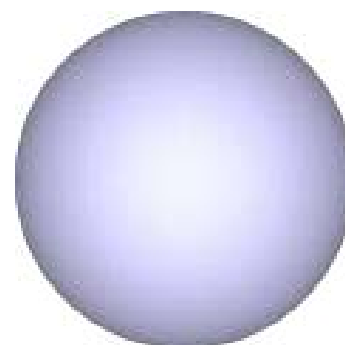
La Commission Internationale de L'Eclairage (CIE) desarrolló un método, basado fundamentalmente en métodos numéricos, que regulariza el cálculo de iluminación natural mediante el Factor de Iluminación Natural (FIN)

El método se creó para realizar, de forma sencilla, el cálculo de luz natural en locales simples, sin complejidad geométrica, en condiciones estándar. Con este método se determinan las condiciones mínimas de iluminación exterior, que permiten calcular el nivel de iluminación interior. Es un método de cálculo gráfico que toma como modelo de cielo el **Cielo Nublado Estándar CIE** y determina el **Factor de Iluminación Natural**.

El Cielo Nublado representa las condiciones óptimas para contrastar un mismo modelo en una variación temporal. Esto se debe a que, en ausencia de la incidencia directa del sol, la distribución de la luminancia varía con la altitud, siendo tres veces más brillante en el cenit que en el horizonte.



DISTRIBUCIÓN DE LUMINANCIA EN CONDICIONES DE CIELO NUBLADO



Cielo totalmente nublado

#### 4.2.2 Fiabilidad de las mediciones

El factor de iluminación natural se obtiene de la media de los puntos calculados, por lo que a mayor cantidad de puntos, mayor exactitud. Realizar estos cálculos manualmente lleva una gran cantidad de tiempo, por lo que simulación informática permite realizar múltiples cálculos en relativamente poco tiempo.

#### 4.2.3 Complejidad de los espacios reales

En los espacios patrimoniales confluyen muchos factores, tienen una geometría compleja, ornamentos, reflexiones... así que, para determinar la influencia que tiene cada uno de los factores que determinan la distribución de la iluminación interior, se debe partir de un modelo sencillo de referencia y estudiar el efecto que produce modificar cada una de las variables

### 4.3 Modelo de cálculo: Parámetros y variables

Para lograr el objetivo marcado, algunos de los factores que determinan la distribución de la luz natural en el interior de un espacio permanecerán constantes, convirtiéndose en parámetros de diseño y otros tomarán diversos valores, siendo éstos variables de cálculo

#### 4.3.1 Parámetros de Diseño

Los factores que permanecerán constantes en todas las simulaciones, fundamentalmente son aquellos que están relacionados con las condiciones exteriores al espacio calculado y con las condiciones del espacio:

- Condiciones exteriores
  - Localización: Latitud y altitud del lugar
  - Condiciones del cielo
- Condiciones interiores
  - Geometría del espacio interior: Superficie y volumen
- Condiciones de la envolvente: el hueco
  - Filtros del hueco: persianas, celosías, veladuras, transparencia del vidrio

##### 4.3.1.1 CONDICIONES EXTERIORES

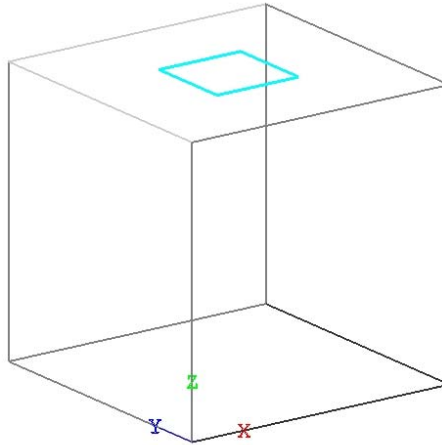
La Luz natural, tal como se ha dicho, depende de la localización y de las condiciones climatológicas. Por cuestiones de proximidad y de posibilidad de posteriores comparaciones con modelos reales, se toma como localización de referencia:

- Localización: Sevilla
- Latitud: 37'42°N, 5'9°W
- Altitud: 31 m

Aunque las condiciones de cielo en Sevilla son de Cielo Despejado principalmente, para realizar las medidas de Factor de Iluminación Natural, el modelo de cielo que se utiliza es el **Modelo de Cielo Nublado**.

#### 4.3.1.2 GEOMETRÍA DEL ESPACIO DE ESTUDIO: MODELO DE REFERENCIA

Los espacios patrimoniales reales son, generalmente, de una gran complejidad formal y volumétrica. Para realizar este estudio es necesario simplificar el modelo espacial para que las condicionantes geométricas interfieran lo menos posible en las variables de estudio y en los datos generados.



Como el objeto de la investigación es un análisis comparativo, se establece un modelo de referencia sobre el que comparar los resultados de las diferentes simulaciones. Este modelo de referencia es un espacio cúbico de 3x3x3 m, con un hueco cenital cuadrado en posición central, cuya superficie es la décima parte de la superficie del suelo.

#### 4.3.1.3 RESUMEN DE LOS PARÁMETROS DE LAS CONDICIONES DE PARTIDA DEL MODELO

Dimensiones		3x3x3
Reflexión	Paredes	0.5
	Suelo	0.2
	Techo	0.8
Orientación de la pared acristalada		Cenital
Superficie del hueco		Ah=0'1As
Coeficiente de forma		1= cuadrado
Posición relativa		Centrado
Operación 3D		Rasante, sin filtros
transparencia del vidrio		0'9

#### 4.3.1.4 FILTROS DEL HUECO

Los elementos de filtro como las persianas, las celosías y las condiciones materiales del vidrio, no son objeto de esta investigación porque producen distorsiones en la entrada de la luz natural en el espacio: reducen la superficie efectiva de entrada de luz y alteran sus condiciones ópticas; por lo tanto se considera como un parámetro de diseño, asumiendo que no hay ningún elemento que filtre la luz y que la transparencia del vidrio se ve afectada por la suciedad, siendo del 90%.

#### 4.3.2 Variables de Cálculo

Los factores que variarán uno a uno en las simulaciones son aquellos que están relacionados con las condiciones del hueco y cuya incidencia sobre la distribución de la luz es objeto de estudio

- Condiciones interiores del espacio
  - Reflexión de sus paramentos
  - Orientación de la pared acristalada



- Condiciones de la envolvente: el hueco
  - Tamaño relativo de la ventana respecto al espacio interior
  - Forma del hueco
  - Disposición de la ventana en la pared
  - Manipulaciones tridimensionales: linternas, voladizos, viseras...

#### 4.3.2.1 REFLEXIÓN DE LOS PARAMENTOS

Para estudiar la incidencia de la reflexión interior de los paramentos se fijan todos los parámetros y se calcula la distribución de la luz natural, medida en Factor de Iluminación Natural, al modificar el valor de la reflexión.

Los valores que toma la reflexión se escalonan en 5 pasos de forma que sean representativos de todo el rango. Como la reflexión varía entre 0 y 1, los valores tomados son: 0.2, 0.4, 0.5, 0.6 y 0.8

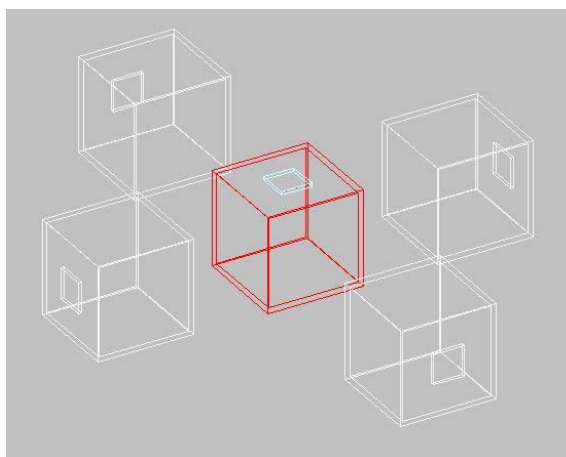
La influencia de la reflexión se estudia en tres series, correspondientes a los tres grupos constructivos: suelo, techo y paredes.



#### 4.3.2.2 ORIENTACIÓN DE LA PARED ACRIALADA

Para estudiar la incidencia de la orientación de la superficie acristalada (u orientación del hueco) se fijan todos los parámetros y se calcula la distribución de la luz natural, medida en Factor de Iluminación Natural, al modificar la orientación.

La influencia de la orientación se estudia para cada punto cardinal y el cenit.

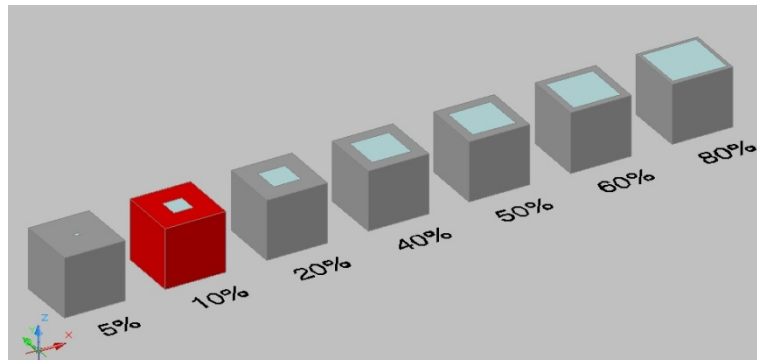


#### 4.3.2.3 SUPERFICIE RELATIVA

Uno de los factores más influyentes es el tamaño del hueco. Para estudiar la incidencia de éste se fijan todos los parámetros y se calcula la distribución de la luz natural, medida en

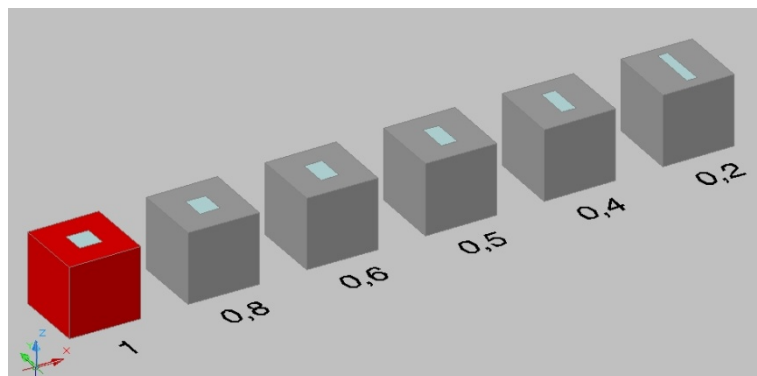
Factor de Iluminación Natural, al modificar el valor del tamaño relativo del hueco respecto a la superficie de suelo del espacio iluminado.

La superficie del hueco se expresa como un porcentaje del tamaño del suelo, así que se toman valores que representen todo el rango, distribuido en 6 escalones:



#### 4.3.2.4 FORMA DEL HUECO

Además del tamaño del hueco, la forma que tiene el mismo influye en las condiciones de distribución de la luz natural. Para estudiar la incidencia de la forma se fijan todos los parámetros y se calcula la distribución de la luz natural, medida en Factor de Iluminación Natural, al modificar el valor del coeficiente de forma, siendo éste la relación entre la dimensión X y la dimensión Y del hueco

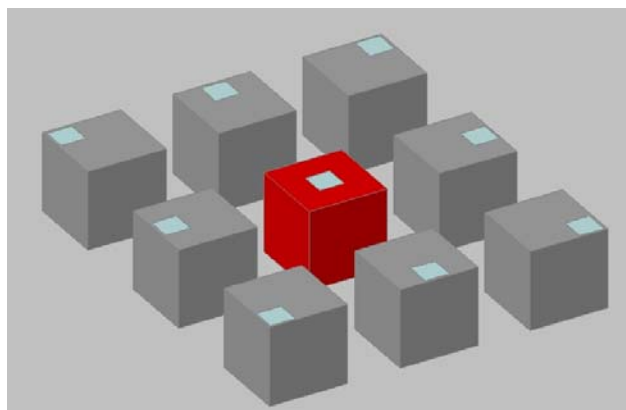


Si el coeficiente de forma varía entre 1 y 0, se toman valores que representen todo el rango, distribuido en 6 escalones:

#### 4.3.2.5 POSICIÓN RELATIVA

Otro factor determinante es la posición que ocupa el hueco en el paramento. Para estudiar la incidencia de la posición relativa del hueco en el paramento, se fijan todos los parámetros y se calcula la distribución de la luz natural, medida en Factor de Iluminación Natural, al modificar la posición.

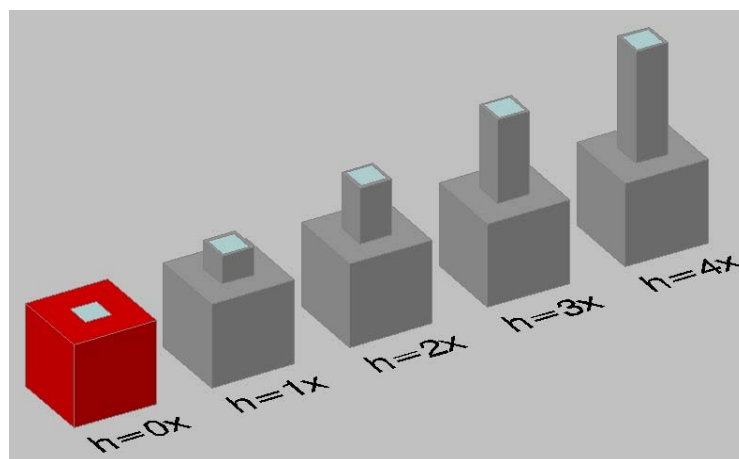
La influencia de ésta se estudia para la posición central (exenta), lateral (adyacente a 1 lado) y en esquina (adyacente a 2 lados).



#### 4.3.2.6 LAS LINTERNAS

En el caso de la iluminación cenital, diversas manipulaciones tridimensionales se han experimentado para llevar la luz desde una cota a otra bastante inferior; es el caso de los atrios, los patios interiores y las linternas.

Para estudiar la incidencia de la altura (o profundidad) de estos “conductos” de luz natural, se fijan todos los parámetros y se calcula la distribución de la luz natural, medida en Factor de Iluminación Natural, al modificar la altura de la linterna.



Esta altura es resultado de multiplicar la dimensión X del hueco por un factor numérico, de forma que pueda ser extrapolable a variaciones de 2º orden.

#### 4.3.2.7 RESUMEN DE LAS VARIABLES DE CÁLCULO

Reflexión de los paramentos	0,2 / 0,4 / 0,5 / 0,6 / 0,8
Orientación de la pared Acristalada	Norte / Sur / Este / Oeste / Cenital
Superficie acristalada relativa	5% / 10% / 20% / 40% / 50% / 60% / 80%
Forma del hueco: X/Y	1 / 0,8 / 0,6 / 0,5 / 0,4 / 0,2
Posición relativa	Centrado / Lateral / Esquina
Modificación 3D: altura de linterna	0x / 1x / 2x / 3x / 4x

Estas variables de cálculo toman los siguientes valores en el modelo de referencia:

Nombre	variables espacio				variables hueco			
	Reflex techo	Rflex suelo	Rflex pared	Orientación	superficie	forma XY	pos. Relat.	forma ZX
referencia	0,8	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	0

## 4.4 Programa informático de cálculo

Dada la abundancia de programas informáticos y de métodos de cálculo de iluminación que existen, elegir alguno de ellos no resulta tarea fácil. Tal como se ha expuesto anteriormente,

en el panorama actual existen muchas herramientas informáticas que permiten calcular iluminación natural, mediante programas creados específicamente para ello o bien mediante programas complejos de simulación energética.

Para realizar las simulaciones de iluminación natural propuestas, se necesita una herramienta informática creada para calcular iluminación, con una interfaz de fácil manejo, sin complejidad instrumental, que proporcione resultados fiables; la herramienta seleccionada es **Lumen Micro**.

Para calcular la iluminación natural y los modelos de cielo, Lumen Micro utiliza los métodos aceptados tanto por el IESNA como por la CIE. Además, los cálculos de iluminación natural se han comparado y verificado con mediciones físicas.

Los resultados de dichas comparaciones, así como una descripción completa de los métodos de cálculo utilizados para calcular los niveles de iluminación natural se presentaron en la 7ª Conferencia Europea de Iluminación, por M. Jongewaard en su ponencia "Daylight Calculations, Measurements and Visualization in Non-Empty Rooms".

Según su investigación, Lumen Micro enfoca el análisis de iluminancia a través del cálculo por radiosidad; esto implica que las superficies del modelo son divididas en elementos discretos, sobre los cuales se estudia la incidencia y reflexión de la luz, así como su interacción con el resto de los elementos del modelo.

Lumen Micro utiliza también las técnicas de la radiosidad para la visualización. El programa permite elegir entre cálculo detallado o rápido. El método del cálculo rápido estudia sólo la componente directa por lo que no es apropiado para el análisis de la iluminación natural. El usuario puede elegir la rejilla de cálculo (en la cual se desarrolla la simulación) dentro de una gran variedad de formas, incluso definir un polígono personalizado.

La capacidad del programa se ve limitada por la geometría de los modelos ya que sólo admite formas paralelepípedas, obviando formas curvas o complejas, pero esto no resulta un inconveniente ya que, en primera instancia, se pretende estudiar un volumen sencillo, luego, no es necesario un programa de complejidad instrumental ni de complejidad geométrica.

#### 4.4.1 Modelización en Lumen Micro 2000

En el espacio de trabajo del software de cálculo (Lumen Micro) se modela una habitación de  $3 \times 3 \times 3 \text{ m}^3$ , se establecen las reflectancias de las superficies interiores y la altura del plano de trabajo, de medida, en nuestro caso.

Datos introducidos en el Modelo geométrico de referencia:

- espacio cúbico de  $3 \times 3 \times 3 \text{ m}$  de longitud, anchura y altitud
- Reflexión de las paredes interiores:
  - Suelo: 0'2
  - Techo: 0'8
  - Paredes: 0'5
- Altura del plano de medida: 0'75 m respecto al suelo

A continuación, se inserta un objeto "ventana"; ésta se define por la posición de su centro, sus dimensiones, la reflectancia, la transmitancia, el tipo de ventana y la superficie en la que se inserta.

Datos introducidos en la definición del hueco de referencia

- Plano de apertura: techo (iluminación cenital)
- Dimensiones del hueco:  $0.95 \times 0.95 \text{ m}$
- Reflectancia: 0'1
- Transmitancia: 0'9
- Tipo de ventana: clara

En el plano de trabajo, donde se mide el nivel de iluminación, se establecen los puntos de cálculo mediante la definición de una rejilla; ésta viene definida por su origen, número y separación de filas y columnas, tipo de cálculo y el área estadística.

Datos introducidos en la Rejilla de cálculo:

- Tipo de rejilla: plano horizontal 9x9 puntos de cálculo
- Elevación: 0'7 m del suelo
- Tipo de cálculo: Iluminancia Horizontal
- Unidades de medida: Lux
- Área Estadística: toda la rejilla

Modelados todos los elementos se procede al cálculo detallado (incluyendo reflexiones) de la iluminación natural en el plano de trabajo (rejilla de cálculo). Se introducen los datos referentes a la localización del objeto, las condiciones de cielo, el día y la hora de cálculo.

Datos geográficos:

- Localización: Sevilla
- Latitud: 37'42º
- Longitud: -5'9º

Datos cronológicos

- Día de cálculo: 21 Junio
- Hora: 14'00 h

Datos Solares:

- Hora solar: 14'23 h
- Elevación (plano azimutal): 56'5º
- Azimut: 75'7º O

Condiciones de cielo: Cielo Nublado

#### 4.4.2 Modelos de simulación: caracterización

Manteniendo constantes los parámetros de diseño y sabiendo los valores que alcanzan las variables de cálculo se elaboran los siguientes modelos de simulación.

A continuación se exponen las características de cada uno de los modelos elaborados para esta investigación. Se indica la nomenclatura utilizada para definir cada modelo y en rojo la variable modificada.

##### 4.4.2.1 MODELO SENCILLO: VARIACIONES DE 1º ORDEN

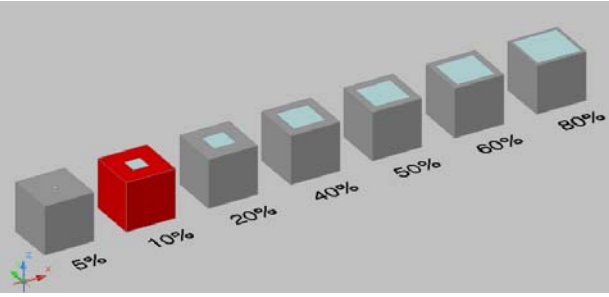
###### 4.4.2.1.1 Reflexión de los paramentos

Nombre	reflexión paramentos		
	paredes	techo	suelo
<b>referencia</b>	<b>0,5</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>
par_0,2	0,2	0,8	0,2
par_0,4	0,4	0,8	0,2
<b>referencia</b>	<b>0,5</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>
par_0,6	0,6	0,8	0,2
par_0,8	0,8	0,8	0,2
tec_0,2	0,5	0,2	0,2
tec_0,4	0,5	0,4	0,2
tec_0,5	0,5	0,5	0,2
tec_0,6	0,5	0,6	0,2

referencia	0,5	0,8	0,2
sue_0,4	0,5	0,8	0,4
sue_0,5	0,5	0,8	0,5
sue_0,6	0,5	0,8	0,6
sue_0,8	0,5	0,8	0,8

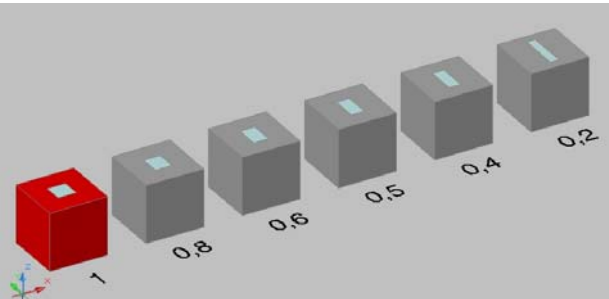
#### 4.4.2.1.2 Superficie relativa del hueco

Nombre	variables			
	superficie	forma XY	pos. Relat.	forma ZX
S_5	5%	1	centro	0
<b>referencia</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
S_20	20%	1	centro	0
S_40	40%	1	centro	0
S_50	50%	1	centro	0
S_60	60%	1	centro	0
S_80	80%	1	centro	0



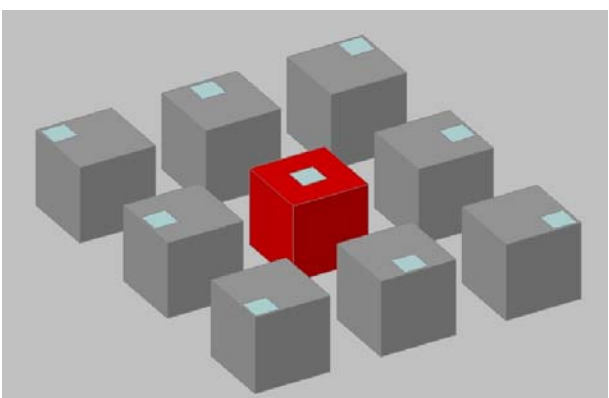
#### 4.4.2.1.3 Coeficiente de forma del hueco

Nombre	variables			
	superficie	forma XY	pos. Relat.	forma ZX
<b>referencia</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
F_0,8	10%	0,8	centro	0
F_0,6	10%	0,6	centro	0
F_0,5	10%	0,5	centro	0
F_0,4	10%	0,4	centro	0
F_0,2	10%	0,2	centro	0



#### 4.4.2.1.4 Posición relativa del hueco en el paramento

Nombre	variables			
	superficie	forma XY	pos. Relat.	forma ZX
P_SI	10%	1	sup_izq	0
P_SM	10%	1	sup_med	0
P_SD	10%	1	sup_der	0
P_MI	10%	1	med_izq	0
<b>referencia</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
P_MD	10%	1	med_der	0
P_II	10%	1	inf_izq	0
P_IM	10%	1	inf_med	0
P_ID	10%	1	inf_der	0



### 4.4.2.2 MODELO SENCILLO: VARIACIONES DE 2º ORDEN

#### 4.4.2.2.1 Reflexión + Orientación

Nombre	variables espacio				variables hueco			
	Reflex techo	Rflex suelo	Rflex pared	Orientación	superficie	forma XY	pos. Relat.	forma ZX
tec_0,2	0,2	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	0
tec_0,4	0,4	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	0
tec_0,5	0,5	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	0
tec_0,6	0,6	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	0

<b>referencia</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
sue_0,4	0,8	0,4	0,5	cenital	10%	1	centro	0
sue_0,5	0,8	0,5	0,5	cenital	10%	1	centro	0
sue_0,6	0,8	0,6	0,5	cenital	10%	1	centro	0
sue_0,8	0,8	0,8	0,5	cenital	10%	1	centro	0
par_0,2	0,8	0,2	0,2	cenital	10%	1	centro	0
par_0,4	0,8	0,2	0,4	cenital	10%	1	centro	0
<b>referencia</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
par_0,6	0,8	0,2	0,6	cenital	10%	1	centro	0
par_0,8	0,8	0,2	0,8	cenital	10%	1	centro	0
tec_0,2 N	0,2	0,2	0,5	norte	10%	1	centro	0
tec_0,4 N	0,4	0,2	0,5	norte	10%	1	centro	0
tec_0,5 N	0,5	0,2	0,5	norte	10%	1	centro	0
tec_0,6 N	0,6	0,2	0,5	norte	10%	1	centro	0
<b>norte</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>norte</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
sue_0,4 N	0,8	0,4	0,5	norte	10%	1	centro	0
sue_0,5 N	0,8	0,5	0,5	norte	10%	1	centro	0
sue_0,6 N	0,8	0,6	0,5	norte	10%	1	centro	0
sue_0,8 N	0,8	0,8	0,5	norte	10%	1	centro	0
par_0,2 N	0,8	0,2	0,2	norte	10%	1	centro	0
par_0,4 N	0,8	0,2	0,4	norte	10%	1	centro	0
<b>norte</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>norte</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
par_0,6 N	0,8	0,2	0,6	norte	10%	1	centro	0
par_0,8 N	0,8	0,2	0,8	norte	10%	1	centro	0

#### 4.4.2.2 Reflexión + Superficie Relativa

Nombre	variables espacio				variables hueco			
	Reflex techo	Rflex suelo	Rflex pared	Orientación	superficie	forma XY	pos. Relat.	forma ZX
tec_0,2_S5	0,2	0,2	0,5	cenital	5%	1	centro	0
tec_0,4_S5	0,4	0,2	0,5	cenital	5%	1	centro	0
tec_0,5_S5	0,5	0,2	0,5	cenital	5%	1	centro	0
tec_0,6_S5	0,6	0,2	0,5	cenital	5%	1	centro	0
<b>S_5</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>cenital</b>	<b>5%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
sue_0,4_S5	0,8	0,4	0,5	cenital	5%	1	centro	0
sue_0,5_S5	0,8	0,5	0,5	cenital	5%	1	centro	0
sue_0,6_S5	0,8	0,6	0,5	cenital	5%	1	centro	0
sue_0,8_S5	0,8	0,8	0,5	cenital	5%	1	centro	0
par_0,2_S5	0,8	0,2	0,2	cenital	5%	1	centro	0
par_0,4_S5	0,8	0,2	0,4	cenital	5%	1	centro	0
<b>S_5</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>cenital</b>	<b>5%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
par_0,6_S5	0,8	0,2	0,6	cenital	5%	1	centro	0
par_0,8_S5	0,8	0,2	0,8	cenital	5%	1	centro	0
tec_0,2	0,2	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	0
tec_0,4	0,4	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	0
tec_0,5	0,5	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	0
tec_0,6	0,6	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	0
<b>referencia</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
sue_0,4	0,8	0,4	0,5	cenital	10%	1	centro	0
sue_0,5	0,8	0,5	0,5	cenital	10%	1	centro	0
sue_0,6	0,8	0,6	0,5	cenital	10%	1	centro	0
sue_0,8	0,8	0,8	0,5	cenital	10%	1	centro	0

par_0,2	0,8	0,2	0,2	cenital	10%	1	centro	0
par_0,4	0,8	0,2	0,4	cenital	10%	1	centro	0
<b>referencia</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
par_0,6	0,8	0,2	0,6	cenital	10%	1	centro	0
par_0,8	0,8	0,2	0,8	cenital	10%	1	centro	0
tec_0,2_S20	0,2	0,2	0,5	cenital	20%	1	centro	0
tec_0,4_S20	0,4	0,2	0,5	cenital	20%	1	centro	0
tec_0,5_S20	0,5	0,2	0,5	cenital	20%	1	centro	0
tec_0,6_S20	0,6	0,2	0,5	cenital	20%	1	centro	0
<b>S_20</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>cenital</b>	<b>20%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
sue_0,4_S20	0,8	0,4	0,5	cenital	20%	1	centro	0
sue_0,5_S20	0,8	0,5	0,5	cenital	20%	1	centro	0
sue_0,6_20	0,8	0,6	0,5	cenital	20%	1	centro	0
sue_0,8_S20	0,8	0,8	0,5	cenital	20%	1	centro	0
par_0,2_S20	0,8	0,2	0,2	cenital	20%	1	centro	0
par_0,4_S20	0,8	0,2	0,4	cenital	20%	1	centro	0
<b>S_20</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>cenital</b>	<b>20%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
par_0,6_S20	0,8	0,2	0,6	cenital	20%	1	centro	0
par_0,8_S20	0,8	0,2	0,8	cenital	20%	1	centro	0
tec_0,2_S40	0,2	0,2	0,5	cenital	40%	1	centro	0
tec_0,4_S40	0,4	0,2	0,5	cenital	40%	1	centro	0
tec_0,5_S40	0,5	0,2	0,5	cenital	40%	1	centro	0
tec_0,6_S40	0,6	0,2	0,5	cenital	40%	1	centro	0
<b>S_40</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>cenital</b>	<b>40%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
sue_0,4_S40	0,8	0,4	0,5	cenital	40%	1	centro	0
sue_0,5_S40	0,8	0,5	0,5	cenital	40%	1	centro	0
sue_0,6_S40	0,8	0,6	0,5	cenital	40%	1	centro	0
sue_0,8_S40	0,8	0,8	0,5	cenital	40%	1	centro	0
par_0,2_S40	0,8	0,2	0,2	cenital	40%	1	centro	0
par_0,4_S40	0,8	0,2	0,4	cenital	40%	1	centro	0
<b>S_40</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>cenital</b>	<b>40%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
par_0,6_S40	0,8	0,2	0,6	cenital	40%	1	centro	0
par_0,8_S40	0,8	0,2	0,8	cenital	40%	1	centro	0
tec_0,2_S50	0,2	0,2	0,5	cenital	50%	1	centro	0
tec_0,4_S50	0,4	0,2	0,5	cenital	50%	1	centro	0
tec_0,5_S50	0,5	0,2	0,5	cenital	50%	1	centro	0
tec_0,6_S50	0,6	0,2	0,5	cenital	50%	1	centro	0
<b>S_50</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>cenital</b>	<b>50%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
sue_0,4_S50	0,8	0,4	0,5	cenital	50%	1	centro	0
sue_0,5_S50	0,8	0,5	0,5	cenital	50%	1	centro	0
sue_0,6_S50	0,8	0,6	0,5	cenital	50%	1	centro	0
sue_0,8_S50	0,8	0,8	0,5	cenital	50%	1	centro	0
par_0,2_S50	0,8	0,2	0,2	cenital	50%	1	centro	0
par_0,4_S50	0,8	0,2	0,4	cenital	50%	1	centro	0
<b>S_50</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>cenital</b>	<b>50%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
par_0,6_S50	0,8	0,2	0,6	cenital	50%	1	centro	0
par_0,8_S50	0,8	0,2	0,8	cenital	50%	1	centro	0
tec_0,2_S60	0,2	0,2	0,5	cenital	60%	1	centro	0
tec_0,4_S60	0,4	0,2	0,5	cenital	60%	1	centro	0
tec_0,5_S60	0,5	0,2	0,5	cenital	60%	1	centro	0
tec_0,6_S60	0,6	0,2	0,5	cenital	60%	1	centro	0



<b>S_60</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>cenital</b>	<b>60%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
sue_0,4_S60	0,8	0,4	0,5	cenital	60%	1	centro	0
sue_0,5_S60	0,8	0,5	0,5	cenital	60%	1	centro	0
sue_0,6_S60	0,8	0,6	0,5	cenital	60%	1	centro	0
sue_0,8_S60	0,8	0,8	0,5	cenital	60%	1	centro	0
par_0,2_S60	0,8	0,2	0,2	cenital	60%	1	centro	0
par_0,4_S60	0,8	0,2	0,4	cenital	60%	1	centro	0
<b>S_60</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>cenital</b>	<b>60%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
par_0,6_S60	0,8	0,2	0,6	cenital	60%	1	centro	0
par_0,8_S60	0,8	0,2	0,8	cenital	60%	1	centro	0
tec_0,2_S80	0,2	0,2	0,5	cenital	80%	1	centro	0
tec_0,4_S80	0,4	0,2	0,5	cenital	80%	1	centro	0
tec_0,5_S80	0,5	0,2	0,5	cenital	80%	1	centro	0
tec_0,6_S80	0,6	0,2	0,5	cenital	80%	1	centro	0
<b>S_80</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>cenital</b>	<b>80%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
sue_0,4_S80	0,8	0,4	0,5	cenital	80%	1	centro	0
sue_0,5_S80	0,8	0,5	0,5	cenital	80%	1	centro	0
sue_0,6_S80	0,8	0,6	0,5	cenital	80%	1	centro	0
sue_0,8_S80	0,8	0,8	0,5	cenital	80%	1	centro	0
par_0,2_S80	0,8	0,2	0,2	cenital	80%	1	centro	0
par_0,4_S80	0,8	0,2	0,4	cenital	80%	1	centro	0
<b>S_80</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>cenital</b>	<b>80%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
par_0,6_S80	0,8	0,2	0,6	cenital	80%	1	centro	0
par_0,8_S80	0,8	0,2	0,8	cenital	80%	1	centro	0

#### 4.4.2.2.3 Reflexión + Coeficiente de Forma

Nombre	variables espacio				variables hueco			
	Reflex techo	Rflx suelo	Rflx pared	Orientación	superficie	forma XY	pos. Relat.	forma ZX
tec_0,2	0,2	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	0
tec_0,4	0,4	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	0
tec_0,5	0,5	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	0
tec_0,6	0,6	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	0
<b>referencia</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
sue_0,4	0,8	0,4	0,5	cenital	10%	1	centro	0
sue_0,5	0,8	0,5	0,5	cenital	10%	1	centro	0
sue_0,6	0,8	0,6	0,5	cenital	10%	1	centro	0
sue_0,8	0,8	0,8	0,5	cenital	10%	1	centro	0
par_0,2	0,8	0,2	0,2	cenital	10%	1	centro	0
par_0,4	0,8	0,2	0,4	cenital	10%	1	centro	0
<b>referencia</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
par_0,6	0,8	0,2	0,6	cenital	10%	1	centro	0
par_0,8	0,8	0,2	0,8	cenital	10%	1	centro	0
F0,8 tec_0,2	0,2	0,2	0,5	cenital	10%	0,8	centro	0
F0,8 tec_0,4	0,4	0,2	0,5	cenital	10%	0,8	centro	0
F0,8 tec_0,5	0,5	0,2	0,5	cenital	10%	0,8	centro	0
F0,8 tec_0,6	0,6	0,2	0,5	cenital	10%	0,8	centro	0
<b>F_0,8</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>0,8</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
F0,8 sue_0,4	0,8	0,4	0,5	cenital	10%	0,8	centro	0
F0,8 sue_0,5	0,8	0,5	0,5	cenital	10%	0,8	centro	0
F0,8 sue_0,6	0,8	0,6	0,5	cenital	10%	0,8	centro	0
F0,8 sue_0,8	0,8	0,8	0,5	cenital	10%	0,8	centro	0

F0,8 par_0,2	0,8	0,2	0,2	cenital	10%	0,8	centro	0
F0,8 par_0,4	0,8	0,2	0,4	cenital	10%	0,8	centro	0
<b>F_0,8</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>0,8</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
F0,8 par_0,6	0,8	0,2	0,6	cenital	10%	0,8	centro	0
F0,8 par_0,8	0,8	0,2	0,8	cenital	10%	0,8	centro	0
F0,6 tec_0,2	0,2	0,2	0,5	cenital	10%	0,6	centro	0
F0,6 tec_0,4	0,4	0,2	0,5	cenital	10%	0,6	centro	0
F0,6 tec_0,5	0,5	0,2	0,5	cenital	10%	0,6	centro	0
F0,6 tec_0,6	0,6	0,2	0,5	cenital	10%	0,6	centro	0
<b>F_0,6</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>0,6</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
F0,6 sue_0,4	0,8	0,4	0,5	cenital	10%	0,6	centro	0
F0,6 sue_0,5	0,8	0,5	0,5	cenital	10%	0,6	centro	0
F0,6 sue_0,6	0,8	0,6	0,5	cenital	10%	0,6	centro	0
F0,6 sue_0,8	0,8	0,8	0,5	cenital	10%	0,6	centro	0
F0,6 par_0,2	0,8	0,2	0,2	cenital	10%	0,6	centro	0
F0,6 par_0,4	0,8	0,2	0,4	cenital	10%	0,6	centro	0
<b>F_0,6</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>0,6</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
F0,6 par_0,6	0,8	0,2	0,6	cenital	10%	0,6	centro	0
F0,6 par_0,8	0,8	0,2	0,8	cenital	10%	0,6	centro	0
F0,5 tec_0,2	0,2	0,2	0,5	cenital	10%	0,5	centro	0
F0,5 tec_0,4	0,4	0,2	0,5	cenital	10%	0,5	centro	0
F0,5 tec_0,5	0,5	0,2	0,5	cenital	10%	0,5	centro	0
F0,5 tec_0,6	0,6	0,2	0,5	cenital	10%	0,5	centro	0
<b>F_0,5</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>0,5</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
F0,5 sue_0,4	0,8	0,4	0,5	cenital	10%	0,5	centro	0
F0,5 sue_0,5	0,8	0,5	0,5	cenital	10%	0,5	centro	0
F0,5 sue_0,6	0,8	0,6	0,5	cenital	10%	0,5	centro	0
F0,5 sue_0,8	0,8	0,8	0,5	cenital	10%	0,5	centro	0
F0,5 par_0,2	0,8	0,2	0,2	cenital	10%	0,5	centro	0
F0,5 par_0,4	0,8	0,2	0,4	cenital	10%	0,5	centro	0
<b>F_0,5</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>0,5</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
F0,5 par_0,6	0,8	0,2	0,6	cenital	10%	0,5	centro	0
F0,5 par_0,8	0,8	0,2	0,8	cenital	10%	0,5	centro	0
F0,4 tec_0,2	0,2	0,2	0,5	cenital	10%	0,4	centro	0
F0,4 tec_0,4	0,4	0,2	0,5	cenital	10%	0,4	centro	0
F0,4 tec_0,5	0,5	0,2	0,5	cenital	10%	0,4	centro	0
F0,4 tec_0,6	0,6	0,2	0,5	cenital	10%	0,4	centro	0
<b>F_0,4</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>0,4</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
F0,4 sue_0,4	0,8	0,4	0,5	cenital	10%	0,4	centro	0
F0,4 sue_0,5	0,8	0,5	0,5	cenital	10%	0,4	centro	0
F0,4 sue_0,6	0,8	0,6	0,5	cenital	10%	0,4	centro	0
F0,4 sue_0,8	0,8	0,8	0,5	cenital	10%	0,4	centro	0
F0,4 par_0,2	0,8	0,2	0,2	cenital	10%	0,4	centro	0
F0,4 par_0,4	0,8	0,2	0,4	cenital	10%	0,4	centro	0
<b>F_0,4</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>0,4</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
F0,4 par_0,6	0,8	0,2	0,6	cenital	10%	0,4	centro	0
F0,4 par_0,8	0,8	0,2	0,8	cenital	10%	0,4	centro	0
F0,2 tec_0,2	0,2	0,2	0,5	cenital	10%	0,2	centro	0
F0,2 tec_0,4	0,4	0,2	0,5	cenital	10%	0,2	centro	0
F0,2 tec_0,5	0,5	0,2	0,5	cenital	10%	0,2	centro	0
F0,2 tec_0,6	0,6	0,2	0,5	cenital	10%	0,2	centro	0

<b>F_0,2</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>0,2</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
F0,2 sue_0,4	0,8	0,4	0,5	cenital	10%	0,2	centro	0
F0,2 sue_0,5	0,8	0,5	0,5	cenital	10%	0,2	centro	0
F0,2 sue_0,6	0,8	0,6	0,5	cenital	10%	0,2	centro	0
F0,2 sue_0,8	0,8	0,8	0,5	cenital	10%	0,2	centro	0
F0,2 par_0,2	0,8	0,2	0,2	cenital	10%	0,2	centro	0
F0,2 par_0,4	0,8	0,2	0,4	cenital	10%	0,2	centro	0
<b>F_0,2</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>0,2</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
F0,2 par_0,6	0,8	0,2	0,6	cenital	10%	0,2	centro	0
F0,2 par_0,8	0,8	0,2	0,8	cenital	10%	0,2	centro	0

4.4.2.2.4 Reflexión + Posición Relativa

Nombre	variables espacio				variables hueco			
	Reflex techo	Rflex suelo	Rflex pared	Orientación	superficie	forma XY	pos. Relat.	forma ZX
tec_0,2	0,2	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	0
tec_0,4	0,4	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	0
tec_0,5	0,5	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	0
tec_0,6	0,6	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	0
<b>referencia</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
sue_0,4	0,8	0,4	0,5	cenital	10%	1	centro	0
sue_0,5	0,8	0,5	0,5	cenital	10%	1	centro	0
sue_0,6	0,8	0,6	0,5	cenital	10%	1	centro	0
sue_0,8	0,8	0,8	0,5	cenital	10%	1	centro	0
par_0,2	0,8	0,2	0,2	cenital	10%	1	centro	0
par_0,4	0,8	0,2	0,4	cenital	10%	1	centro	0
<b>referencia</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
par_0,6	0,8	0,2	0,6	cenital	10%	1	centro	0
par_0,8	0,8	0,2	0,8	cenital	10%	1	centro	0
tec_0,2 L	0,2	0,2	0,5	cenital	10%	1	lateral	0
tec_0,4 L	0,4	0,2	0,5	cenital	10%	1	lateral	0
tec_0,5 L	0,5	0,2	0,5	cenital	10%	1	lateral	0
tec_0,6 L	0,6	0,2	0,5	cenital	10%	1	lateral	0
<b>LATERAL</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>lateral</b>	<b>0</b>
sue_0,4 L	0,8	0,4	0,5	cenital	10%	1	lateral	0
sue_0,5 L	0,8	0,5	0,5	cenital	10%	1	lateral	0
sue_0,6 L	0,8	0,6	0,5	cenital	10%	1	lateral	0
sue_0,8 L	0,8	0,8	0,5	cenital	10%	1	lateral	0
par_0,2 L	0,8	0,2	0,2	cenital	10%	1	lateral	0
par_0,4 L	0,8	0,2	0,4	cenital	10%	1	lateral	0
<b>LATERAL</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>lateral</b>	<b>0</b>
par_0,6 L	0,8	0,2	0,6	cenital	10%	1	lateral	0
par_0,8 L	0,8	0,2	0,8	cenital	10%	1	lateral	0
tec_0,2 E	0,2	0,2	0,5	cenital	10%	1	esquina	0
tec_0,4 E	0,4	0,2	0,5	cenital	10%	1	esquina	0
tec_0,5 E	0,5	0,2	0,5	cenital	10%	1	esquina	0
tec_0,6 E	0,6	0,2	0,5	cenital	10%	1	esquina	0
<b>ESQUINA</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>esquina</b>	<b>0</b>
sue_0,4 E	0,8	0,4	0,5	cenital	10%	1	esquina	0
sue_0,5 E	0,8	0,5	0,5	cenital	10%	1	esquina	0
sue_0,6 E	0,8	0,6	0,5	cenital	10%	1	esquina	0
sue_0,8 E	0,8	0,8	0,5	cenital	10%	1	esquina	0

par_0,2 E	0,8	0,2	0,2	cenital	10%	1	esquina	0
par_0,4 E	0,8	0,2	0,4	cenital	10%	1	esquina	0
<b>ESQUINA</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>esquina</b>	<b>0</b>
par_0,6 E	0,8	0,2	0,6	cenital	10%	1	esquina	0
par_0,8 E	0,8	0,2	0,8	cenital	10%	1	esquina	0

#### 4.4.2.2.5 Orientación + Superficie Relativa

Nombre	variables espacio				variables hueco			
	Reflex techo	Rflex suelo	Rflex pared	Orientación	superficie	forma XY	pos. Relat.	forma ZX
S_05	0,80	0,20	0,50	cenital	5%	1	centro	0
<b>referencia</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
S_20	0,80	0,20	0,50	cenital	20%	1	centro	0
S_40	0,80	0,20	0,50	cenital	40%	1	centro	0
S_50	0,80	0,20	0,50	cenital	50%	1	centro	0
S_60	0,80	0,20	0,50	cenital	60%	1	centro	0
S_80	0,80	0,20	0,50	cenital	80%	1	centro	0
S_05 N	0,80	0,20	0,50	lateral	5%	1	centro	0
<b>norte</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>lateral</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
S_20 N	0,80	0,20	0,50	lateral	20%	1	centro	0
S_40 N	0,80	0,20	0,50	lateral	40%	1	centro	0
S_50 N	0,80	0,20	0,50	lateral	50%	1	centro	0
S_60 N	0,80	0,20	0,50	lateral	60%	1	centro	0
S_80 N	0,80	0,20	0,50	lateral	80%	1	centro	0

#### 4.4.2.2.6 Orientación + Coeficiente de Forma

Nombre	variables espacio				variables hueco			
	Reflex techo	Rflex suelo	Rflex pared	Orientación	superficie	forma XY	pos. Relat.	forma ZX
<b>referencia</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
F_0,8	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,8	centro	0
F_0,6	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,6	centro	0
F_0,5	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,5	centro	0
F_0,4	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,4	centro	0
F_0,2	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,2	centro	0
<b>norte</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>lateral</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
F_0,8 lv	0,80	0,20	0,50	lateral	10%	0,8 V	centro	0
F_0,6 lv	0,80	0,20	0,50	lateral	10%	0,6 V	centro	0
F_0,5 lv	0,80	0,20	0,50	lateral	10%	0,5 V	centro	0
F_0,4 lv	0,80	0,20	0,50	lateral	10%	0,4 V	centro	0
F_0,2 lv	0,80	0,20	0,50	lateral	10%	0,2 V	centro	0
<b>norte</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>lateral</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
F_0,8 lh	0,80	0,20	0,50	lateral	10%	0,8 H	centro	0
F_0,6 lh	0,80	0,20	0,50	lateral	10%	0,6 H	centro	0
F_0,5 lh	0,80	0,20	0,50	lateral	10%	0,5 H	centro	0
F_0,4 lh	0,80	0,20	0,50	lateral	10%	0,4 H	centro	0
F_0,2 lh	0,80	0,20	0,50	lateral	10%	0,2 H	centro	0

4.4.2.2.7 Orientación + Posición relativa

Nombre	variables espacio				variables hueco			
	Reflex techo	Rflex suelo	Rflex pared	Orientación	superficie	forma XY	pos. Relat.	forma ZX
P_SI	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	1	sup_izq	0
P_SM	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	1	sup_med	0
P_SD	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	1	sup_der	0
P_MI	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	1	med_izq	0
<b>referencia</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
P_MD	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	1	med_der	0
P_II	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	1	inf_izq	0
P_IM	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	1	inf_med	0
P_ID	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	1	inf_der	0
P_SIN	0,80	0,20	0,50	lateral	10%	1	sup_izq	0
P_SMN	0,80	0,20	0,50	lateral	10%	1	sup_med	0
P_SDN	0,80	0,20	0,50	lateral	10%	1	sup_der	0
P_MIN	0,80	0,20	0,50	lateral	10%	1	med_izq	0
<b>norte</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>lateral</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
P_MDN	0,80	0,20	0,50	lateral	10%	1	med_der	0
P_IIN	0,80	0,20	0,50	lateral	10%	1	inf_izq	0
P_IMN	0,80	0,20	0,50	lateral	10%	1	inf_med	0
P_IDN	0,80	0,20	0,50	lateral	10%	1	inf_der	0

4.4.2.2.8 Superficie Relativa + Posición Relativa

Nombre	variables espacio				variables hueco			
	Reflex techo	Rflex suelo	Rflex pared	Orientación	superficie	forma XY	pos. Relat.	forma ZX
S_5	0,80	0,20	0,50	cenital	5%	1	centro	0
<b>referencia</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
S_20	0,80	0,20	0,50	cenital	20%	1	centro	0
S_40	0,80	0,20	0,50	cenital	40%	1	centro	0
S_50	0,80	0,20	0,50	cenital	50%	1	centro	0
S_60	0,80	0,20	0,50	cenital	60%	1	centro	0
S_80	0,80	0,20	0,50	cenital	80%	1	centro	0
S_5L	0,80	0,20	0,50	cenital	5%	1	lateral	0
<b>P_MD</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>lateral</b>	<b>0</b>
S_20L	0,80	0,20	0,50	cenital	20%	1	lateral	0
S_40L	0,80	0,20	0,50	cenital	40%	1	lateral	0
S_50L	0,80	0,20	0,50	cenital	50%	1	lateral	0
S_60L	0,80	0,20	0,50	cenital	60%	1	lateral	0
S_80L	0,80	0,20	0,50	cenital	80%	1	lateral	0
S_5E	0,80	0,20	0,50	cenital	5%	1	esquina	0
<b>P_ID</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>esquina</b>	<b>0</b>
S_20E	0,80	0,20	0,50	cenital	20%	1	esquina	0
S_40E	0,80	0,20	0,50	cenital	40%	1	esquina	0
S_50E	0,80	0,20	0,50	cenital	50%	1	esquina	0
S_60E	0,80	0,20	0,50	cenital	60%	1	esquina	0
S_80E	0,80	0,20	0,50	cenital	80%	1	esquina	0

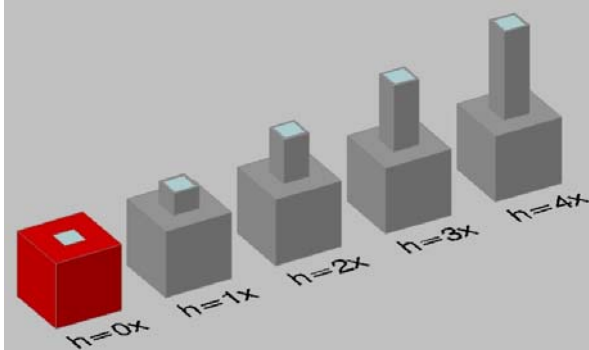
#### 4.4.2.2.9 Coeficiente de Forma + Posición relativa

Nombre	variables espacio				variables hueco			
	Reflex techo	Rflex suelo	Rflex pared	Orientación	superficie	forma XY	pos. Relat.	forma ZX
<b>referencia</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
F_0,8	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,8	centro	0
F_0,6	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,6	centro	0
F_0,5	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,5	centro	0
F_0,4	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,4	centro	0
F_0,2	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,2	centro	0
<b>P_MI</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>med_izq</b>	<b>0</b>
F_0,8 MI	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,8	med_izq	0
F_0,6 MI	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,6	med_izq	0
F_0,5 MI	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,5	med_izq	0
F_0,4 MI	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,4	med_izq	0
F_0,2 MI	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,2	med_izq	0
<b>P_IM</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>inf_med</b>	<b>0</b>
F_0,8 IM	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,8	inf_med	0
F_0,6 IM	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,6	inf_med	0
F_0,5 IM	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,5	inf_med	0
F_0,4 IM	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,4	inf_med	0
F_0,2 IM	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,2	inf_med	0
<b>P_II</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>inf_izq</b>	<b>0</b>
F_0,8 II	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,8	inf_izq	0
F_0,6 II	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,6	inf_izq	0
F_0,5 II	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,5	inf_izq	0
F_0,4 II	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,4	inf_izq	0
F_0,2 II	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,2	inf_izq	0

#### 4.4.2.3 LINTERNA DE REFERENCIA

##### 4.4.2.3.1 Altura de linterna

Nombre	variables			
	superficie	forma XY	pos. Relat.	forma ZX
<b>referencia</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
h_0,25	10%	1	centro	0,25
h_0,5	10%	1	centro	0,5
h_0,75	10%	1	centro	0,75
h_1	10%	1	centro	1
h_2	10%	1	centro	2
h_3	10%	1	centro	3
h_4	10%	1	centro	4



##### 4.4.2.3.2 Altura de linterna + Posición relativa

Nombre	variables espacio				variables hueco			
	Reflex techo	Rflex suelo	Rflex pared	Orientación	superficie	forma XY	pos. Relat.	forma ZX
<b>referencia</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
h_1	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	1	centro	1
h_2	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	1	centro	2
h_3	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	1	centro	3
h_4	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	1	centro	4

<b>lateral</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>lateral</b>	<b>0</b>
h_1 L	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	1	lateral	1
h_2 L	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	1	lateral	2
h_3 L	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	1	lateral	3
h_4 L	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	1	lateral	4
<b>esquina</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>esquina</b>	<b>0</b>
h_1 E	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	1	esquina	1
h_2 E	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	1	esquina	2
h_3 E	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	1	esquina	3
h_4 E	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	1	esquina	4

#### 4.4.2.3.3 Altura de linterna + Reflexión

Nombre	variables espacio				variables hueco			
	Reflex techo	Rflex suelo	Rflex pared	Orientación	superficie	forma XY	pos. Relat.	forma ZX
tec_0,2	0,2	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	0
tec_0,4	0,4	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	0
tec_0,5	0,5	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	0
tec_0,6	0,6	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	0
referencia	0,8	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	0
sue_0,4	0,8	0,4	0,5	cenital	10%	1	centro	0
sue_0,5	0,8	0,5	0,5	cenital	10%	1	centro	0
sue_0,6	0,8	0,6	0,5	cenital	10%	1	centro	0
sue_0,8	0,8	0,8	0,5	cenital	10%	1	centro	0
par_0,2	0,8	0,2	0,2	cenital	10%	1	centro	0
par_0,4	0,8	0,2	0,4	cenital	10%	1	centro	0
referencia	0,8	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	0
par_0,6	0,8	0,2	0,6	cenital	10%	1	centro	0
par_0,8	0,8	0,2	0,8	cenital	10%	1	centro	0
h1 tec_0,2	0,2	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	1
h1 tec_0,4	0,4	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	1
h1 tec_0,5	0,5	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	1
h1 tec_0,6	0,6	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	1
h_1	0,8	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	1
h1 sue_0,4	0,8	0,4	0,5	cenital	10%	1	centro	1
h1 sue_0,5	0,8	0,5	0,5	cenital	10%	1	centro	1
h1 sue_0,6	0,8	0,6	0,5	cenital	10%	1	centro	1
h1 sue_0,8	0,8	0,8	0,5	cenital	10%	1	centro	1
h1 par_0,2	0,8	0,2	0,2	cenital	10%	1	centro	1
h1 par_0,4	0,8	0,2	0,4	cenital	10%	1	centro	1
h_1	0,8	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	1
h1 par_0,6	0,8	0,2	0,6	cenital	10%	1	centro	1
h1 par_0,8	0,8	0,2	0,8	cenital	10%	1	centro	1
h2 tec_0,2	0,2	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	2
h2 tec_0,4	0,4	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	2
h2 tec_0,5	0,5	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	2
h2 tec_0,6	0,6	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	2
h_2	0,8	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	2
h2 sue_0,4	0,8	0,4	0,5	cenital	10%	1	centro	2
h2 sue_0,5	0,8	0,5	0,5	cenital	10%	1	centro	2
h2 sue_0,6	0,8	0,6	0,5	cenital	10%	1	centro	2
h2 sue_0,8	0,8	0,8	0,5	cenital	10%	1	centro	2

h2 par_0,2	0,8	0,2	0,2	cenital	10%	1	centro	2
h2 par_0,4	0,8	0,2	0,4	cenital	10%	1	centro	2
<b>h_2</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>2</b>
h2 par_0,6	0,8	0,2	0,6	cenital	10%	1	centro	2
h2 par_0,8	0,8	0,2	0,8	cenital	10%	1	centro	2
h3 tec_0,2	0,2	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	3
h3 tec_0,4	0,4	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	3
h3 tec_0,5	0,5	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	3
h3 tec_0,6	0,6	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	3
<b>h_3</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>3</b>
h3 sue_0,4	0,8	0,4	0,5	cenital	10%	1	centro	3
h3 sue_0,5	0,8	0,5	0,5	cenital	10%	1	centro	3
h3 sue_0,6	0,8	0,6	0,5	cenital	10%	1	centro	3
h3 sue_0,8	0,8	0,8	0,5	cenital	10%	1	centro	3
h3 par_0,2	0,8	0,2	0,2	cenital	10%	1	centro	3
h3 par_0,4	0,8	0,2	0,4	cenital	10%	1	centro	3
<b>h_3</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>3</b>
h3 par_0,6	0,8	0,2	0,6	cenital	10%	1	centro	3
h3 par_0,8	0,8	0,2	0,8	cenital	10%	1	centro	3
h4 tec_0,2	0,2	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	4
h4 tec_0,4	0,4	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	4
h4 tec_0,5	0,5	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	4
h4 tec_0,6	0,6	0,2	0,5	cenital	10%	1	centro	4
<b>h_4</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>4</b>
h4 sue_0,4	0,8	0,4	0,5	cenital	10%	1	centro	4
h4 sue_0,5	0,8	0,5	0,5	cenital	10%	1	centro	4
h4 sue_0,6	0,8	0,6	0,5	cenital	10%	1	centro	4
h4 sue_0,8	0,8	0,8	0,5	cenital	10%	1	centro	4
h4 par_0,2	0,8	0,2	0,2	cenital	10%	1	centro	4
h4 par_0,4	0,8	0,2	0,4	cenital	10%	1	centro	4
<b>h_4</b>	<b>0,8</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>4</b>
h4 par_0,6	0,8	0,2	0,6	cenital	10%	1	centro	4
h4 par_0,8	0,8	0,2	0,8	cenital	10%	1	centro	4

Al considerar sólo la variación de la reflexión de las paredes de la linterna obtenemos los siguientes modelos:

Nombre	variables espacio					variables hueco			
	Reflex techo	Rflex suelo	Rflex pared	Rflex lint	Orientación	superficie	forma XY	pos. Relat.	forma ZX
<b>referencia</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>0,50</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
h1 par_0,2	0,80	0,20	0,50	0,20	cenital	10%	1	centro	1
h1 par_0,4	0,80	0,20	0,50	0,40	cenital	10%	1	centro	1
<b>h_1</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>0,50</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>1</b>
h1 par_0,6	0,80	0,20	0,50	0,60	cenital	10%	1	centro	1
h1 par_0,8	0,80	0,20	0,50	0,80	cenital	10%	1	centro	1
h2 par_0,2	0,80	0,20	0,50	0,20	cenital	10%	1	centro	2
h2 par_0,4	0,80	0,20	0,50	0,40	cenital	10%	1	centro	2
<b>h_2</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>0,50</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>2</b>
h2 par_0,6	0,80	0,20	0,50	0,60	cenital	10%	1	centro	2
h2 par_0,8	0,80	0,20	0,50	0,80	cenital	10%	1	centro	2
h3 par_0,2	0,80	0,20	0,50	0,20	cenital	10%	1	centro	3
h3 par_0,4	0,80	0,20	0,50	0,40	cenital	10%	1	centro	3



<b>h_3</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>0,50</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>3</b>
h3 par_0,6	0,80	0,20	0,50	0,60	cenital	10%	1	centro	3
h3 par_0,8	0,80	0,20	0,50	0,80	cenital	10%	1	centro	3
h4 par_0,2	0,80	0,20	0,50	0,20	cenital	10%	1	centro	4
h4 par_0,4	0,80	0,20	0,50	0,40	cenital	10%	1	centro	4
<b>h_4</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>0,50</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>4</b>
h4 par_0,6	0,80	0,20	0,50	0,60	cenital	10%	1	centro	4
h4 par_0,8	0,80	0,20	0,50	0,80	cenital	10%	1	centro	4

#### 4.4.2.3.4 Altura de linterna + Orientación del hueco

Nombre	variables espacio				variables hueco			
	Reflex techo	Rflex suelo	Rflex pared	Orientación	superficie	forma XY	pos. Relat.	forma ZX
<b>referencia</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
h_1	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	1	centro	1
h_2	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	1	centro	2
h_3	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	1	centro	3
h_4	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	1	centro	4
h_1 LS	0,80	0,20	0,50	lateral sup	10%	1	centro	1
h_2 LS	0,80	0,20	0,50	lateral sup	10%	1	centro	2
h_3 LS	0,80	0,20	0,50	lateral sup	10%	1	centro	3
h_4 LS	0,80	0,20	0,50	lateral sup	10%	1	centro	4

#### 4.4.2.3.5 Altura de linterna + Superficie relativa

Nombre	variables espacio				variables hueco			
	Reflex techo	Rflex suelo	Rflex pared	Orientación	superficie	forma XY	pos. Relat.	forma ZX
<b>s_0,5</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>cenital</b>	<b>5%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
h_1 0,5	0,80	0,20	0,50	cenital	5%	1	centro	1
h_2 0,5	0,80	0,20	0,50	cenital	5%	1	centro	2
h_3 0,5	0,80	0,20	0,50	cenital	5%	1	centro	3
h_4 0,5	0,80	0,20	0,50	cenital	5%	1	centro	4
<b>referencia</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
h_1	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	1	centro	1
h_2	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	1	centro	2
h_3	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	1	centro	3
h_4	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	1	centro	4
<b>S_20</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>cenital</b>	<b>20%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
h_1 20	0,80	0,20	0,50	cenital	20%	1	centro	1
h_2 20	0,80	0,20	0,50	cenital	20%	1	centro	2
h_3 20	0,80	0,20	0,50	cenital	20%	1	centro	3
h_4 20	0,80	0,20	0,50	cenital	20%	1	centro	4
<b>S_40</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>cenital</b>	<b>40%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
h_1 40	0,80	0,20	0,50	cenital	40%	1	centro	1
h_2 40	0,80	0,20	0,50	cenital	40%	1	centro	2
h_3 40	0,80	0,20	0,50	cenital	40%	1	centro	3
h_4 40	0,80	0,20	0,50	cenital	40%	1	centro	4
<b>S_50</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>cenital</b>	<b>50%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
h_1 50	0,80	0,20	0,50	cenital	50%	1	centro	1
h_2 50	0,80	0,20	0,50	cenital	50%	1	centro	2
h_3 50	0,80	0,20	0,50	cenital	50%	1	centro	3
h_4 50	0,80	0,20	0,50	cenital	50%	1	centro	4

<b>S_60</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>cenital</b>	<b>60%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
h_1 60	0,80	0,20	0,50	cenital	60%	1	centro	1
h_2 60	0,80	0,20	0,50	cenital	60%	1	centro	2
h_3 60	0,80	0,20	0,50	cenital	60%	1	centro	3
h_4 60	0,80	0,20	0,50	cenital	60%	1	centro	4
<b>S_80</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>cenital</b>	<b>80%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
h_1 80	0,80	0,20	0,50	cenital	80%	1	centro	1
h_2 80	0,80	0,20	0,50	cenital	80%	1	centro	2
h_3 80	0,80	0,20	0,50	cenital	80%	1	centro	3
h_4 80	0,80	0,20	0,50	cenital	80%	1	centro	4

#### 4.4.2.3.6 Altura de linterna + Coeficiente de forma

Nombre	variables espacio				variables hueco			
	Reflex techo	Rflex suelo	Rflex pared	Orientación	superficie	forma XY	pos. Relat.	forma ZX
<b>referencia</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>0</b>
F_0,8	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,8	centro	0
F_0,6	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,6	centro	0
F_0,5	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,5	centro	0
F_0,4	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,4	centro	0
F_0,2	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,2	centro	0
<b>h_1</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>1</b>
F_0,8 h1	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,8	centro	1
F_0,6 h1	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,6	centro	1
F_0,5 h1	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,5	centro	1
F_0,4 h1	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,4	centro	1
F_0,2 h1	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,2	centro	1
<b>h_2</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>2</b>
F_0,8 h2	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,8	centro	2
F_0,6 h2	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,6	centro	2
F_0,5 h2	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,5	centro	2
F_0,4 h2	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,4	centro	2
F_0,2 h2	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,2	centro	2
<b>h_3</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>3</b>
F_0,8 h3	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,8	centro	3
F_0,6 h3	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,6	centro	3
F_0,5 h3	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,5	centro	3
F_0,4 h3	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,4	centro	3
F_0,2 h3	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,2	centro	3
<b>h_4</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>cenital</b>	<b>10%</b>	<b>1</b>	<b>centro</b>	<b>4</b>
F_0,8 h4	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,8	centro	4
F_0,6 h4	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,6	centro	4
F_0,5 h4	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,5	centro	4
F_0,4 h4	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,4	centro	4
F_0,2 h4	0,80	0,20	0,50	cenital	10%	0,2	centro	4

#### 4.4.2.4 LINTERNA DE LADO A LADO

Hemos visto los modelos de linterna en los que a las variaciones realizadas al modelo sencillo se les añade la altura de la linterna. A continuación se estudia la linterna y sus variaciones cuando ésta recorre toda la longitud del espacio, de forma que los límites del espacio forman parte de los límites de la linterna.

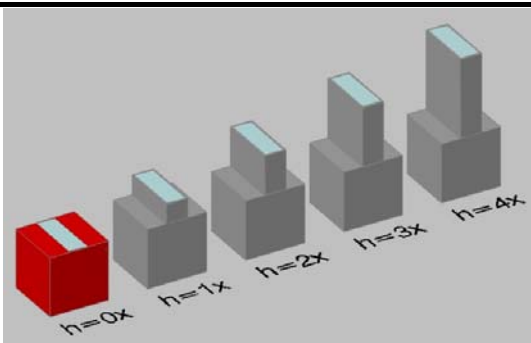
Para estas simulaciones se fija un nuevo modelo de referencia en el que las variables de cálculo adoptan

Nombre	variables espacio				variables hueco			
	Reflex techo	Rflex suelo	Rflex pared	Orientación	superficie	forma XY	pos. Relat.	forma ZX
N-S 1-0	0,80	0,20	0,50	cenital	33,3%	0,33	centro	0,00

En este caso el hueco mide 1x3 m, representa el 33% de la superficie del suelo, se ubica en el techo y tiene una posición central. Al ocupar toda la longitud del espacio podemos estudiar el comportamiento de la linterna sólo en una dirección, obviando el comportamiento según la dirección perpendicular. Se puede decir que el espacio se reduce a una sección.

##### 4.4.2.4.1 Altura de linterna

Nombre	variables hueco			
	superficie	forma XY	pos. Relat.	forma ZX
N-S 1-0	33,3%	0,33	centro	0,00
N-S 1-1	33,3%	0,33	centro	1,00
N-S 1-2	33,3%	0,33	centro	2,00
N-S 1-3	33,3%	0,33	centro	3,00
N-S 1-4	33,3%	0,33	centro	4,00



##### 4.4.2.4.2 Altura de linterna + Posición relativa

Nombre	variables espacio				variables hueco			
	Reflex techo	Rflex suelo	Rflex pared	Orientación	superficie	forma XY	pos. Relat.	forma ZX
N-S 1-0	0,80	0,20	0,50	cenital	33,3%	0,33	centro	0,00
N-S 1-1	0,80	0,20	0,50	cenital	33,3%	0,33	centro	1,00
N-S 1-2	0,80	0,20	0,50	cenital	33,3%	0,33	centro	2,00
N-S 1-3	0,80	0,20	0,50	cenital	33,3%	0,33	centro	3,00
N-S 1-4	0,80	0,20	0,50	cenital	33,3%	0,33	centro	4,00
N-S 1-0 E	0,80	0,20	0,50	cenital	33,3%	0,33	lateral este	0,00
N-S 1-1 E	0,80	0,20	0,50	cenital	33,3%	0,33	lateral este	1,00
N-S 1-2 E	0,80	0,20	0,50	cenital	33,3%	0,33	lateral este	2,00
N-S 1-3 E	0,80	0,20	0,50	cenital	33,3%	0,33	lateral este	3,00
N-S 1-4 E	0,80	0,20	0,50	cenital	33,3%	0,33	lateral este	4,00
N-S 1-0 O	0,80	0,20	0,50	cenital	33,3%	0,33	lateral oeste	0,00
N-S 1-1 O	0,80	0,20	0,50	cenital	33,3%	0,33	lateral oeste	1,00
N-S 1-2 O	0,80	0,20	0,50	cenital	33,3%	0,33	lateral oeste	2,00
N-S 1-3 O	0,80	0,20	0,50	cenital	33,3%	0,33	lateral oeste	3,00
N-S 1-4 O	0,80	0,20	0,50	cenital	33,3%	0,33	lateral oeste	4,00

#### 4.4.2.4.3 Altura de linterna + Reflexión

En esta serie de variaciones veremos la influencia de cambiar el coeficiente de reflexión de las paredes del espacio, incluidas las paredes de la linterna. El efecto del suelo y del techo ya se considera estudiado en las variaciones anteriores.

Nombre	variables espacio				variables hueco			
	Reflex techo	Rflex suelo	Rflex pared	Orientación	superficie	forma XY	pos. Relat.	forma ZX
<b>N-S 1-0 0,2</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,20</b>	<b>cenital</b>	<b>33,3%</b>	<b>0,33</b>	<b>centro</b>	<b>0,00</b>
N-S 1-1 0,2	0,80	0,20	0,20	cenital	33,3%	0,33	centro	1,00
N-S 1-2 0,2	0,80	0,20	0,20	cenital	33,3%	0,33	centro	2,00
N-S 1-3 0,2	0,80	0,20	0,20	cenital	33,3%	0,33	centro	3,00
N-S 1-4 0,2	0,80	0,20	0,20	cenital	33,3%	0,33	centro	4,00
<b>N-S 1-0 0,4</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,40</b>	<b>cenital</b>	<b>33,3%</b>	<b>0,33</b>	<b>centro</b>	<b>0,00</b>
N-S 1-1 0,4	0,80	0,20	0,40	cenital	33,3%	0,33	centro	1,00
N-S 1-2 0,4	0,80	0,20	0,40	cenital	33,3%	0,33	centro	2,00
N-S 1-3 0,4	0,80	0,20	0,40	cenital	33,3%	0,33	centro	3,00
N-S 1-4 0,4	0,80	0,20	0,40	cenital	33,3%	0,33	centro	4,00
<b>N-S 1-0</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>cenital</b>	<b>33,3%</b>	<b>0,33</b>	<b>centro</b>	<b>0,00</b>
N-S 1-1	0,80	0,20	0,50	cenital	33,3%	0,33	centro	1,00
N-S 1-2	0,80	0,20	0,50	cenital	33,3%	0,33	centro	2,00
N-S 1-3	0,80	0,20	0,50	cenital	33,3%	0,33	centro	3,00
N-S 1-4	0,80	0,20	0,50	cenital	33,3%	0,33	centro	4,00
<b>N-S 1-0 0,6</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,60</b>	<b>cenital</b>	<b>33,3%</b>	<b>0,33</b>	<b>centro</b>	<b>0,00</b>
N-S 1-1 0,6	0,80	0,20	0,60	cenital	33,3%	0,33	centro	1,00
N-S 1-2 0,6	0,80	0,20	0,60	cenital	33,3%	0,33	centro	2,00
N-S 1-3 0,6	0,80	0,20	0,60	cenital	33,3%	0,33	centro	3,00
N-S 1-4 0,6	0,80	0,20	0,60	cenital	33,3%	0,33	centro	4,00
<b>N-S 1-0 0,8</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,80</b>	<b>cenital</b>	<b>33,3%</b>	<b>0,33</b>	<b>centro</b>	<b>0,00</b>
N-S 1-1 0,8	0,80	0,20	0,80	cenital	33,3%	0,33	centro	1,00
N-S 1-2 0,8	0,80	0,20	0,80	cenital	33,3%	0,33	centro	2,00
N-S 1-3 0,8	0,80	0,20	0,80	cenital	33,3%	0,33	centro	3,00
N-S 1-4 0,8	0,80	0,20	0,80	cenital	33,3%	0,33	centro	4,00

Si consideramos sólo el cambio en la reflexión de los paramentos de la linterna, manteniendo los coeficientes de reflexión del espacio:

Nombre	variables espacio					variables hueco			
	Reflex techo	Rflex suelo	Rflex pared	reflexión lint	Orientación	superficie	forma XY	pos. Relat.	forma ZX
<b>N-S 1-0 0,2 L</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>0,20</b>	<b>cenital</b>	<b>33,3%</b>	<b>0,33</b>	<b>centro</b>	<b>0,00</b>
N-S 1-1 0,2 L	0,80	0,20	0,50	0,20	cenital	33,3%	0,33	centro	1,00
N-S 1-2 0,2 L	0,80	0,20	0,50	0,20	cenital	33,3%	0,33	centro	2,00
N-S 1-3 0,2 L	0,80	0,20	0,50	0,20	cenital	33,3%	0,33	centro	3,00
N-S 1-4 0,2 L	0,80	0,20	0,50	0,20	cenital	33,3%	0,33	centro	4,00
<b>N-S 1-0 0,4 L</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>0,40</b>	<b>cenital</b>	<b>33,3%</b>	<b>0,33</b>	<b>centro</b>	<b>0,00</b>
N-S 1-1 0,4 L	0,80	0,20	0,50	0,40	cenital	33,3%	0,33	centro	1,00
N-S 1-2 0,4 L	0,80	0,20	0,50	0,40	cenital	33,3%	0,33	centro	2,00
N-S 1-3 0,4 L	0,80	0,20	0,50	0,40	cenital	33,3%	0,33	centro	3,00
N-S 1-4 0,4 L	0,80	0,20	0,50	0,40	cenital	33,3%	0,33	centro	4,00
<b>N-S 1-0</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>0,50</b>	<b>cenital</b>	<b>33,3%</b>	<b>0,33</b>	<b>centro</b>	<b>0,00</b>
N-S 1-1	0,80	0,20	0,50	0,50	cenital	33,3%	0,33	centro	1,00
N-S 1-2	0,80	0,20	0,50	0,50	cenital	33,3%	0,33	centro	2,00
N-S 1-3	0,80	0,20	0,50	0,50	cenital	33,3%	0,33	centro	3,00

N-S 1-4	0,80	0,20	0,50	0,50	cenital	33,3%	0,33	centro	4,00
<b>N-S 1-0 0,6 L</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>0,60</b>	<b>cenital</b>	<b>33,3%</b>	<b>0,33</b>	<b>centro</b>	<b>0,00</b>
N-S 1-1 0,6 L	0,80	0,20	0,50	0,60	cenital	33,3%	0,33	centro	1,00
N-S 1-2 0,6 L	0,80	0,20	0,50	0,60	cenital	33,3%	0,33	centro	2,00
N-S 1-3 0,6 L	0,80	0,20	0,50	0,60	cenital	33,3%	0,33	centro	3,00
N-S 1-4 0,6 L	0,80	0,20	0,50	0,60	cenital	33,3%	0,33	centro	4,00
<b>N-S 1-0 0,8 L</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>0,80</b>	<b>cenital</b>	<b>33,3%</b>	<b>0,33</b>	<b>centro</b>	<b>0,00</b>
N-S 1-1 0,8 L	0,80	0,20	0,50	0,80	cenital	33,3%	0,33	centro	1,00
N-S 1-2 0,8 L	0,80	0,20	0,50	0,80	cenital	33,3%	0,33	centro	2,00
N-S 1-3 0,8 L	0,80	0,20	0,50	0,80	cenital	33,3%	0,33	centro	3,00
N-S 1-4 0,8 L	0,80	0,20	0,50	0,80	cenital	33,3%	0,33	centro	4,00

#### 4.4.2.4.4 Altura de linterna + Orientación del hueco

Nombre	variables espacio				variables hueco			
	Reflex techo	Rflex suelo	Rflex pared	Orientación	superficie	forma XY	pos. Relat.	forma ZX
<b>N-S 1-0</b>	<b>0,80</b>	<b>0,20</b>	<b>0,50</b>	<b>cenital</b>	<b>33,3%</b>	<b>0,33</b>	<b>centro</b>	<b>0,00</b>
N-S 1-1	0,80	0,20	0,50	cenital	33,3%	0,33	centro	1,00
N-S 1-2	0,80	0,20	0,50	cenital	33,3%	0,33	centro	2,00
N-S 1-3	0,80	0,20	0,50	cenital	33,3%	0,33	centro	3,00
N-S 1-4	0,80	0,20	0,50	cenital	33,3%	0,33	centro	4,00
N-S 1-1	0,80	0,20	0,50	lateral	33,3%	0,33	centro	1,00
N-S 1-2	0,80	0,20	0,50	lateral	33,3%	0,33	centro	2,00
N-S 1-3	0,80	0,20	0,50	lateral	33,3%	0,33	centro	3,00
N-S 1-4	0,80	0,20	0,50	lateral	33,3%	0,33	centro	4,00

## 4.5 Medida y Toma de datos

Tal como se ha expuesto con anterioridad, para realizar el análisis de la influencia de ciertos factores sobre la distribución de luz natural en el espacio, se mide el nivel de iluminación interior y se pone en relación con el nivel de iluminación exterior.

El programa informático elegido, Lumen Micro 2000, mide el nivel de iluminación interior y exterior, luego es preciso poner ambos valores en relación mediante el Factor de Iluminación Natural.

### 4.5.1 Medida del Factor de Iluminación Natural

El programa de cálculo utilizado para las simulaciones permite hallar el nivel iluminación, medido en lux (lx), en los puntos de cálculo, las estadísticas entre estos puntos y podemos ver las curvas del campo luminoso

Los algoritmos de cálculo del programa Lumen Micro se aplican a los puntos de la rejilla de cálculo, definida por la orientación, el tamaño y la posición del plano de cálculo y la cantidad de puntos que contiene.

Para esta investigación se calculan los puntos de una rejilla de 7 filas y 7 columnas, distribuidas uniformemente en un plano horizontal cuya superficie es igual a la superficie de suelo situada a una altura de 0,75 m, similar al plano de trabajo utilizado en luminotecnía.

Definida la rejilla de cálculo, el programa calcula el nivel de iluminación en cada uno de sus puntos. Además señala en el resumen estadístico de datos los siguientes valores:

- Iluminancia Máxima (E máx.)
- Iluminancia Mínima (E mín.)
- Iluminancia Media (E med)
- Uniformidad media (E mín./E med)

- Uniformidad extrema (E mín./E máx.)

Además, el programa calcula el nivel de iluminación en las diferentes superficies exteriores del modelo para el día y la hora de cálculo deseada, siendo el nivel de iluminación exterior en el plano horizontal (plano de cubierta) el que necesitamos para hallar el Factor de Iluminación Natural

Los datos calculados de Iluminación Exterior e Iluminación Interior, máxima, mínima y media, se introducen en una hoja de cálculo para hallar el **Factor de Iluminación natural Medio** mediante la siguiente fórmula:

$$FIN = (E_{i\ med}/E_e) \times 100$$

Por tanto, cada variable estudiada tiene una hoja de cálculo con los valores calculados de Iluminación exterior, Iluminación interior Medio y Factor de Iluminación Medio para cada variación. De esta forma, se pueden comparar y obtener conclusiones sobre la influencia de cada variable en el espacio.

## 5 Materiales

A continuación se exponen los resultados obtenidos de la simulación en ordenador, posteriormente tratados en una hoja de cálculo según cada serie de variaciones.

### 5.1 Validación de la herramienta de cálculo

Sabemos que la luz natural cambia con el clima, el día, la hora y la localización. Manteniendo constante la localización (Sevilla), este primer acercamiento trata de validar la herramienta informática de cálculo Lumen Micro. Para ello se contrastan los resultados calculados por el programa para Cielo Nublado con el modelo de Cielo Nublado Moon-Spencer.

El Cielo Nublado representa las condiciones óptimas para contrastar un mismo modelo en una variación temporal. Esto es debido a que, en ausencia de la incidencia directa del sol, la distribución de la luminancia en la bóveda celeste es constante en su dirección y ubicación, aunque su cuantía resulte variable.

Existen varios modelos que transcriben la situación de Cielo Nublado, entre ellos el modelo de Cielo Totalmente Nublado de Moon-Spencer, adoptado por la Comisión Internacional de Iluminación (C.I.E.) como referencia normalizada para cielos nublados, para dar más precisión al estudio de la iluminación natural de interiores.

El modelo de Cielo Totalmente Nublado de Moon-Spencer presenta un cielo de distribución simétrica de luminancia alrededor del cenit en el que los valores de luminancia en los meridianos de un cielo nublado se distribuyen según la siguiente ley:

$$L_{\theta\phi} = L_z \frac{1 + 2 \sin \theta}{3}$$

Siendo  $L_{\theta}$  la luminancia a una altitud  $\theta$  y  $L_z$  la luminancia en el cenit.

Lo cual implica que el menor valor de luminancia en una bóveda con cielo nublado sucede en el horizonte, equivalente a la tercera parte de la luminancia máxima en el cenit;  $L_{\theta=L_z/3}$ .

Conociendo la relación entre los niveles de iluminación y los valores de luminancia (1), y el cálculo de valores de luminancia para condiciones de cielo nublado (2), pueden deducirse los niveles de iluminación en el interior del modelo (3).

$$E_w = \int_{\theta_L}^{\theta_H} \int_{\phi_L}^{\phi_R} L_{\theta\phi} \cos^2 \theta \cos \phi d\phi d\theta \quad (1)$$

$$L_{\theta\phi} = L_z \frac{1 + 2 \sin \theta}{3} \quad (2)$$

$$E_{ws} = L_z \left[ \frac{1}{3} (\sin \phi_L + \sin \phi_R) \times \left( \frac{\theta_H - \theta_L}{2} + \frac{\sin 2\theta_H - \sin 2\theta_L}{4} - \frac{2 \cos^3 \theta_H - 2 \cos^3 \theta_L}{3} \right) \right] \quad (3)$$

El modelo de Cielo Totalmente Nublado de Moon-Spencer tiene la gran ventaja de su universalidad, por su independencia de la orientación e invariancia con el tiempo. Adoptar un modelo de Cielo Nublado CIE implica que el modelo de cielo no va a cambiar, aunque varíe su cuantía con el día y con la hora, y, como el modelo de cielo nublado sólo varía con la altitud, el objeto de estudio no se verá afectado por la rotación del Norte.

Bajo las condiciones de Cielo Totalmente Nublado tanto para la Iluminancia Horizontal Exterior ( $E_e$ ) como para la Iluminancia en un punto del interior ( $E_i$ ), la Luminancia en el cenit ( $L_z$ ) representa un factor común, por lo que el Factor de Iluminación Natural es constante a lo largo del año y no varía con la orientación, sino con la altitud.

$$E_{Hext}=7/9 \pi L_z$$

$$E_{int}=L_z f(\Phi_L, \Phi_R, \theta_H, \theta_L)$$

$$FIN = (E_{int}/E_{Hext}) \times 100 = f(\Phi_L, \Phi_R, \theta_H, \theta_L)$$

Luego, para validar el programa de cálculo, se comprobará si, efectivamente, los resultados calculados no dependen de la variación del tiempo ni de la orientación

### 5.1.1 Densidad de puntos de cálculo

Para hallar el nivel de iluminación en el plano de trabajo, y el factor de iluminación natural, es de gran importancia el número de puntos del plano sobre los que se calcula la iluminancia, por lo que se procedió a un primer estudio sobre el número de puntos de cálculo para un día de referencia.

Para este ensayo se toma como rejilla de referencia una rejilla formada por 7 filas y 7 columnas distribuidas uniformemente (49 puntos de cálculo). A continuación se modifica la densidad de puntos de cálculo y se mide el factor de iluminación natural medio.

Nombre	día	hora	E ext	E int (med)	FINmed	E int (máx)	FINmax	E int (mín)	FINmin
25 pts	21-jun	14	18845	832,6	4,418	1348,9	7,158	484,5	2,571
<b>referencia</b>	<b>21-jun</b>	<b>14</b>	<b>18845</b>	<b>884,4</b>	<b>4,693</b>	<b>1348,9</b>	<b>7,158</b>	<b>484,5</b>	<b>2,571</b>
81 pts	21-jun	14	18845	908,3	4,820	1348,9	7,158	484,5	2,571
100 pts	21-jun	14	18845	919,7	4,880	1334,1	7,079	484,5	2,571
625 pts	21-jun	14	18845	968	5,137	1348,9	7,158	484,5	2,571
900 pts	21-jun	14	18845	971,9	5,157	1357,8	7,205	484,5	2,571
4900 pts	21-jun	14	18845	987,5	5,240	1355,7	7,194	484,5	2,571
10000 pts	21-jun	14	18845	991,7	5,262	1356,2	7,197	484,5	2,571

E ext = Nivel de iluminación exterior

E int (med)= Nivel de iluminación medio interior

FINmed= factor de iluminación natural medio

E int (máx)= nivel de iluminación máximo interior

FINmax= factor de iluminación natural máximo

E int (min)= nivel de iluminación mínimo interior

FINmin= factor de iluminación natural mínimo

Para hallar la relación entre densidad de puntos de cálculo y precisión de resultado, se establecen dos factores:

- Densidad de puntos/Densidad de puntos de referencia
- FIN malla/ FIN malla de referencia

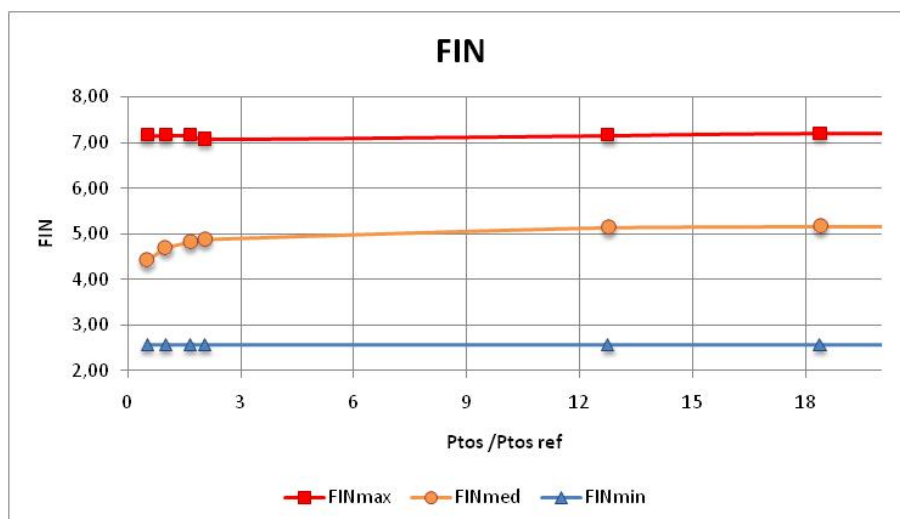
Nombre	Ptos/Ptos ref	FINmed	FINi/FINr	U med	Umi/Umr	U extr	Uei/Uer
25 pts	<b>0,51</b>	4,418	<b>94,14%</b>	0,582	106,22%	0,359	100,00%
<b>referencia</b>	<b>1,00</b>	<b>4,693</b>	<b>100,00%</b>	<b>0,548</b>	<b>100,00%</b>	<b>0,359</b>	<b>100,00%</b>
81 pts	<b>1,65</b>	4,820	<b>102,70%</b>	0,533	97,37%	0,359	100,00%
100 pts	<b>2,04</b>	4,880	<b>103,99%</b>	0,527	96,16%	0,363	101,11%
625 pts	<b>12,76</b>	5,137	<b>109,45%</b>	0,501	91,36%	0,359	100,00%
900 pts	<b>18,37</b>	5,157	<b>109,89%</b>	0,499	91,00%	0,357	99,34%
4900 pts	<b>100</b>	5,240	<b>111,66%</b>	0,491	89,56%	0,357	99,50%
10000 pts	<b>204,08</b>	5,262	<b>112,13%</b>	0,489	89,18%	0,357	99,46%

U med= variación valor mínimo respecto a la media    Uextr= variación valor mínimo respecto al máximo

Tal como podemos observar, el número de puntos de cálculo influye en la precisión de los mismos, pero una vez determinada la relación que existe entre los diferentes valores, se pueden realizar los cálculos con una rejilla que no ralentice al programa y luego aplicar el factor de relación según la cantidad de puntos de cálculo que deseemos.

Si representamos gráficamente el Factor de Iluminación Natural en función de la densidad relativa de puntos de la rejilla:





Podemos observar que los valores de Factor de Iluminación Natural se estabilizan para una rejilla de cálculo con una cantidad de puntos 16 veces mayor a la rejilla de referencia, lo que representa un incremento del FIN del 10% respecto a lo calculado en la rejilla de 49 puntos.

Por lo tanto, para no ralentizar la computación de las diferentes variaciones se calculará el nivel de iluminación con una rejilla de 49 puntos y luego se incrementará un 10% el Factor de Iluminación Natural Medio calculado.

### 5.1.2 Variación temporal

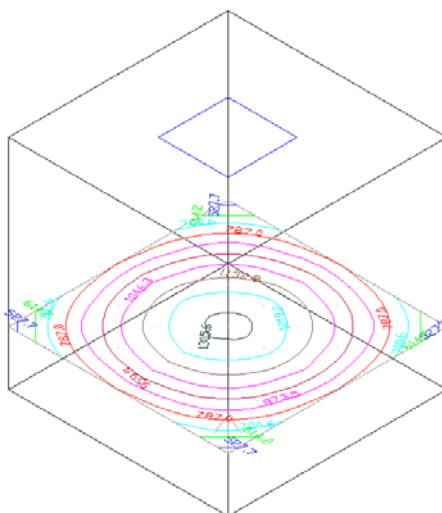
Para condiciones de Cielo Nublado, en Sevilla, se estudia el Factor de Iluminación Natural para los Solsticios y Equinoccios en 5 horas del día: las 8h, 10h, 12h, 14h y 16h; tomando como elemento de referencia los valores calculados para el día 21 de Junio a las 14h:

Nombre	Datos obtenidos con Lumen Micro 2000: 49 puntos de cálculo								
	día	hora	E ext	E int (med)	FINmed	E int (máx)	FINmax	E int (mín)	FINmin
21-mar-08	21-mar	8	10131	475,4	4,693	725,1	7,157	260,5	2,571
21-mar-10	21-mar	10	16107	755,9	4,693	1152,9	7,158	414,1	2,571
21-mar-12	21-mar	12	17827	836,6	4,693	1276	7,158	458,3	2,571
21-mar-14	21-mar	14	14830	695,9	4,693	1061,4	7,157	381,3	2,571
21-mar-16	21-mar	16	7919	371,6	4,693	566,8	7,157	203,6	2,571
21-jun-08	21-jun	8	15125	709,8	4,693	1082,6	7,158	388,9	2,571
21-jun-10	21-jun	10	20439	959,2	4,693	1463	7,158	525,5	2,571
21-jun-12	21-jun	12	21801	1023,1	4,693	1560,4	7,157	560,5	2,571
<b>referencia</b>	<b>21-jun</b>	<b>14</b>	<b>18845</b>	<b>884,4</b>	<b>4,693</b>	<b>1348,9</b>	<b>7,158</b>	<b>484,5</b>	<b>2,571</b>
21-jun-16	21-jun	16	12364	580,2	4,693	884,9	7,157	317,9	2,571
21-sep-08	21-sep	8	11202	525,7	4,693	801,8	7,158	288	2,571
21-sep-10	21-sep	10	16740	785,6	4,693	1198,2	7,158	430,4	2,571
21-sep-12	21-sep	12	17903	840,2	4,693	1281,4	7,157	460,3	2,571
21-sep-14	21-sep	14	14379	674,8	4,693	1029,2	7,158	369,7	2,571
21-sep-16	21-sep	16	7112	333,8	4,693	509,1	7,158	182,9	2,572
21-dic-08	21-dic	8	4623	217	4,694	330,9	7,158	118,9	2,572
21-dic-10	21-dic	10	9821	460,9	4,693	702,9	7,157	252,5	2,571
21-dic-12	21-dic	12	11034	517,8	4,693	789,8	7,158	283,7	2,571
21-dic-14	21-dic	14	7937	372,5	4,693	568,1	7,158	204,1	2,572
21-dic-16	21-dic	16	1361	63,86	4,692	97,4	7,157	34,99	2,571

Como podemos observar las variaciones en el Factor de Iluminación Natural son del orden de la milésima parte del porcentaje en todo el año, por lo que siguen la ley de Moon-Spencer para Cielo Totalmente Nublado.

I Acosta, en su artículo “*Comparative Analysis of Lighting Simulation Software*”, realiza un ensayo de variación temporal con el mismo modelo espacial propuesto contrastando los resultados de diferentes programas. De su análisis se desprende que Lumen Micro, además de su uniformidad, ofrece valores de Factor de Iluminación Natural relativamente similares a los ofrecidos por Ecotect y Dialux.

En este sentido, el programa se valida en el ensayo de variación temporal, luego para efectuar los cálculos se puede elegir cualquier día y cualquier hora del año. En las siguientes variaciones se toma como **referencia: 21 de Junio a las 14h, en Sevilla, con condiciones de Cielo Nublado.**



Campo luminoso del modelo espacial de referencia (curvas isolux)

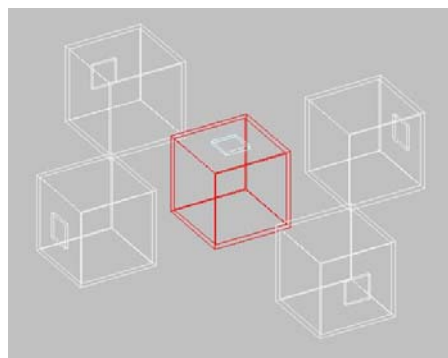
El campo luminoso del modelo espacial de referencia presenta curvas isolux concéntricas con origen en el centro del plano de trabajo, bajo el centro del hueco cenital; el coeficiente de uniformidad medio de 0'548 indica que el nivel mínimo de iluminación es aproximadamente la mitad del nivel medio; el coeficiente de uniformidad extremo de 0'359 indica que el nivel mínimo de iluminación es aproximadamente un tercio del nivel máximo. Estos factores indican un campo luminoso bastante uniforme.

Nombre	día	hora	U med	U extr
21-mar-08	21-mar	8	0,548	0,359
21-mar-10	21-mar	10	0,548	0,359
21-mar-12	21-mar	12	0,548	0,359
21-mar-14	21-mar	14	0,548	0,359
21-mar-16	21-mar	16	0,548	0,359
21-jun-08	21-jun	8	0,548	0,359
21-jun-10	21-jun	10	0,548	0,359
21-jun-12	21-jun	12	0,548	0,359
<b>referencia</b>	<b>21-jun</b>	<b>14</b>	<b>0,548</b>	<b>0,359</b>
21-jun-16	21-jun	16	0,548	0,359
21-sep-08	21-sep	8	0,548	0,359
21-sep-10	21-sep	10	0,548	0,359
21-sep-12	21-sep	12	0,548	0,359
21-sep-14	21-sep	14	0,548	0,359
21-sep-16	21-sep	16	0,548	0,359
21-dic-08	21-dic	8	0,548	0,359
21-dic-10	21-dic	10	0,548	0,359
21-dic-12	21-dic	12	0,548	0,359
21-dic-14	21-dic	14	0,548	0,359
21-dic-16	21-dic	16	0,548	0,359

### 5.1.3 Variación de la Orientación

Las condiciones de Cielo Totalmente Nublado de Moon-Spencer establecen que el Factor de Iluminación Natural varía con la altitud, luego no depende de la orientación aunque el valor para el hueco cenital será mayor que para el hueco vertical.

$$L_{\theta\phi} = L_z \frac{1 + 2 \sin \theta}{3}$$

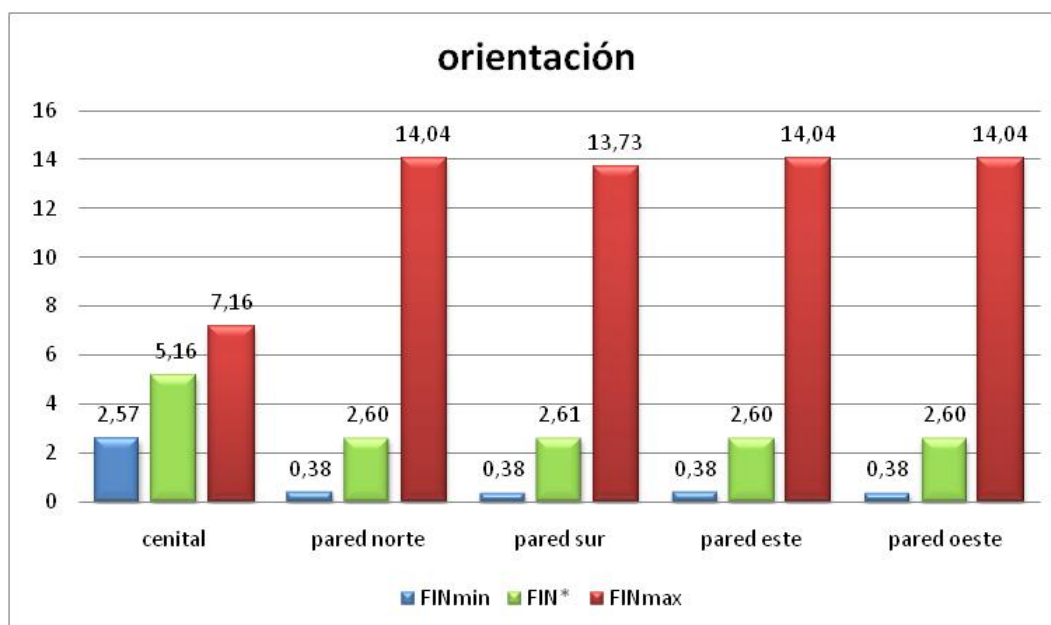


Partiendo del modelo de referencia, con hueco cenital, se calcula el Factor de Iluminación Natural Medio al disponer el hueco orientado según los puntos cardinales:

Nombre	orientación hueco	E ext	E int (med)	FIN	FIN*	FIN/FINr
<b>referencia</b>	<b>cenital</b>	<b>18845</b>	<b>884,4</b>	<b>4,69</b>	<b>5,16</b>	<b>1,00</b>
norte	pared norte	18845	444,6	2,36	2,60	0,50
sur	pared sur	18845	446,3	2,37	2,61	0,50
este	pared este	18845	444,6	2,36	2,60	0,50
oeste	pared oeste	18845	444,6	2,36	2,60	0,50

FIN\*= factor de iluminación natural corregido FINmed ·1'10

Si representamos el Factor de Iluminación Natural en función de la pared donde se sitúa el hueco:



En efecto, podemos observar que bajo las condiciones de Cielo Nublado el Factor de Iluminación Natural Medio y Mínimo en el plano de trabajo, debido a un hueco cenital, duplica a los valores alcanzados con huecos dispuestos en las cuatro orientaciones, mientras que es la mitad para el Factor de Iluminación Natural Máximo.

Además, el factor de iluminación natural es prácticamente constante para todos los puntos cardinales, produciéndose una desviación en la orientación Sur.

Nombre	E int (máx)	FINmax	E int (mín)	FINmin	U med	U extr
<b>referencia</b>	<b>1348,9</b>	<b>7,16</b>	<b>484,5</b>	<b>2,57</b>	<b>0,55</b>	<b>0,36</b>
norte	2645	14,04	71,6	0,38	0,16	0,03
sur	2587,2	13,73	71,5	0,38	0,16	0,03
este	2645	14,04	71,6	0,38	0,16	0,03
oeste	2644,9	14,04	71,4	0,38	0,16	0,03

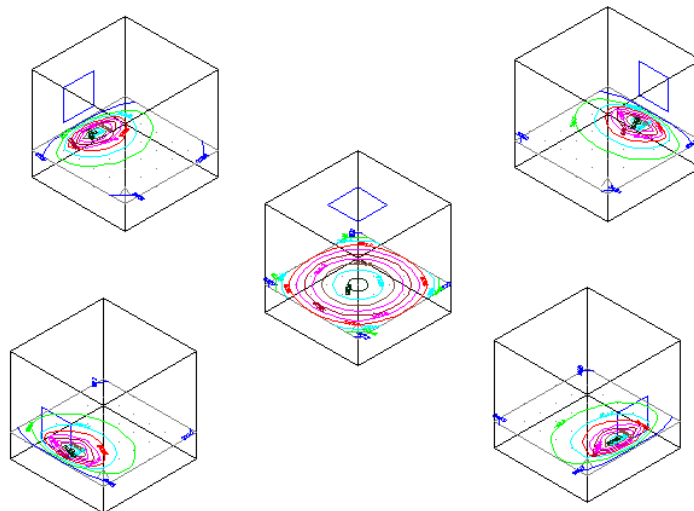
Al analizar los resultados máximo y mínimo se observa, sin embargo, que el Factor de Iluminación Natural Máximo bajo hueco cenital es la mitad del obtenido bajo hueco lateral.

I Acosta, en su artículo *“Comparative Analysis of Lighting Simulation Software”*, realiza un ensayo de variación de la orientación con el mismo modelo espacial propuesto contrastando los resultados de diferentes programas. De su análisis y del ensayo realizado se desprende que Lumen Micro, además de su uniformidad, responde a la hipótesis teórica planteada.

Luego, el programa también se válida para la variación de la orientación del hueco.

En cuanto a la distribución de luz natural en el plano de trabajo se distinguen dos casos distintos: el campo proporcionado por el hueco cenital, estudiado anteriormente, y el campo proporcionado por el hueco orientado según los puntos cardinales. En este segundo caso, el campo es independiente de la orientación, siendo los cuatro casos iguales.

El coeficiente de uniformidad medio y el coeficiente de uniformidad extremo indican una fuerte bajada del nivel de iluminación, por lo tanto un campo luminoso muy poco uniforme, con un nivel de iluminación máximo próximo a la ventana y una fuerte caída hacia la pared opuesta.



Campo luminoso según la orientación (curvas isolux)

## 5.2 Variaciones sobre un modelo geométrico sencillo

Una vez validado el programa de cálculo informático, se estudia la influencia de los factores que determinan la distribución de la luz natural en un modelo espacial sencillo. En primer lugar se estudia el efecto de cada una de las variables de forma aislada (variaciones de 1º orden) y luego se estudia el efecto de las variables tomadas de dos en dos (variaciones de 2º orden) para determinar la relación que guardan sus comportamientos.

### 5.2.1 Variaciones de 1º Orden

Definidas las variables que afectan al estudio, es preciso conocer la influencia que tienen una a una sobre la distribución de luz natural en el plano de trabajo de un modelo espacial sencillo, medida en Factor de Iluminación Natural.

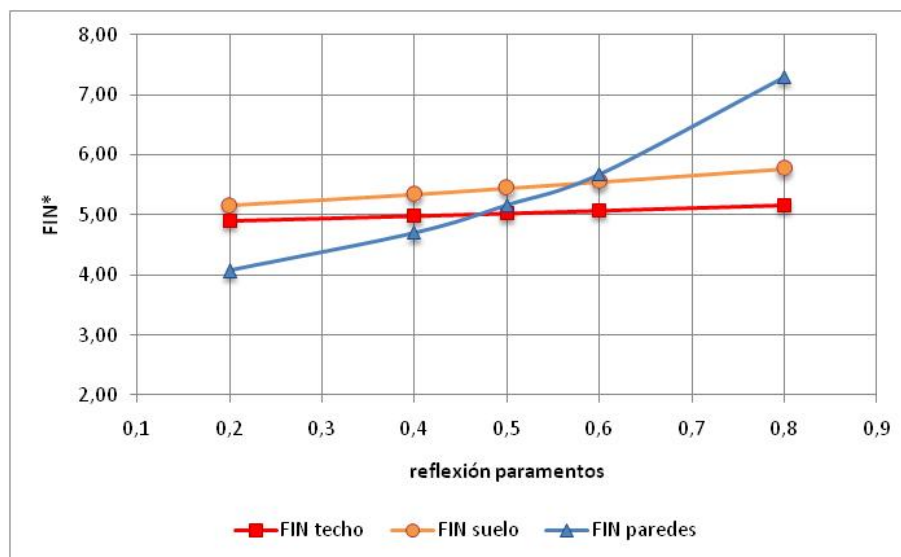
### 5.2.1.1 REFLEXIÓN DE LOS PARAMENTOS

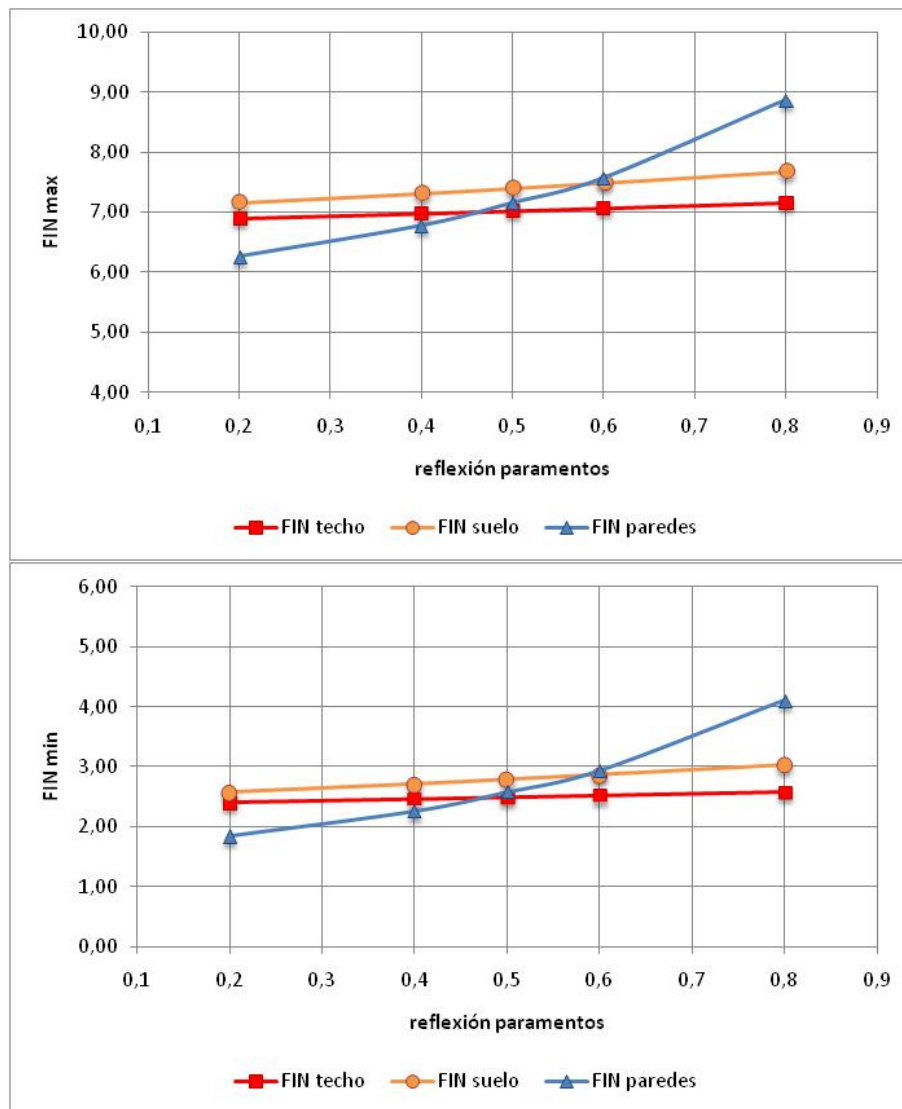
Un elemento clave en la distribución de la luz natural en el espacio es la capacidad de sus paramentos interiores de reflejar la luz. En este análisis se cambia el coeficiente de reflexión de los elementos constructivos, de forma que se cambia el valor o del suelo o del techo o de todas las paredes:

Nombre	Datos obtenidos con Lumen Micro 2000							
	E ext	E int (med)	FIN	FIN*	E int (máx)	FINmx	E int (mín)	FINmn
referencia	18845	884,4	<b>4,69</b>	<b>5,16</b>	1348,9	<b>7,16</b>	484,5	<b>2,57</b>
par_0,2	18845	697,5	<b>3,70</b>	<b>4,07</b>	1180,3	<b>6,26</b>	347,2	<b>1,84</b>
par_0,4	18845	805	<b>4,27</b>	<b>4,70</b>	1277,6	<b>6,78</b>	424,8	<b>2,25</b>
referencia	18845	884,4	<b>4,69</b>	<b>5,16</b>	1348,9	<b>7,16</b>	484,5	<b>2,57</b>
par_0,6	18845	972,6	<b>5,16</b>	<b>5,68</b>	1427,5	<b>7,57</b>	552,4	<b>2,93</b>
par_0,8	18845	1251	<b>6,64</b>	<b>7,30</b>	1673	<b>8,88</b>	773	<b>4,10</b>
tec_0,2	18845	839,7	<b>4,46</b>	<b>4,90</b>	1299,2	<b>6,89</b>	451,3	<b>2,39</b>
tec_0,4	18845	853,5	<b>4,53</b>	<b>4,98</b>	1314,5	<b>6,98</b>	461,6	<b>2,45</b>
tec_0,5	18845	861	<b>4,57</b>	<b>5,03</b>	1322,9	<b>7,02</b>	467,2	<b>2,48</b>
tec_0,6	18845	868,7	<b>4,61</b>	<b>5,07</b>	1331,4	<b>7,07</b>	472,9	<b>2,51</b>
referencia	18845	884,4	<b>4,69</b>	<b>5,16</b>	1348,9	<b>7,16</b>	484,5	<b>2,57</b>
sue_0,4	18845	915,8	<b>4,86</b>	<b>5,35</b>	1378,2	<b>7,31</b>	510,1	<b>2,71</b>
sue_0,5	18845	933,3	<b>4,95</b>	<b>5,45</b>	1394,6	<b>7,40</b>	524,4	<b>2,78</b>
sue_0,6	18845	951,5	<b>5,05</b>	<b>5,55</b>	1411,6	<b>7,49</b>	539,2	<b>2,86</b>
sue_0,8	18845	988,8	<b>5,25</b>	<b>5,77</b>	1446,5	<b>7,68</b>	569,6	<b>3,02</b>

En los resultados podemos ver que apenas influye la variación del coeficiente de reflexión del techo (superficie donde se inserta el hueco), ni del suelo (perpendicular a la entrada de luz), pero que se producen importantes cambios en el factor de iluminación natural medio cuando se altera la reflexión de las paredes.

Si presentamos gráficamente la relación entre el Factor de Iluminación Natural y el coeficiente de reflexión de los paramentos:



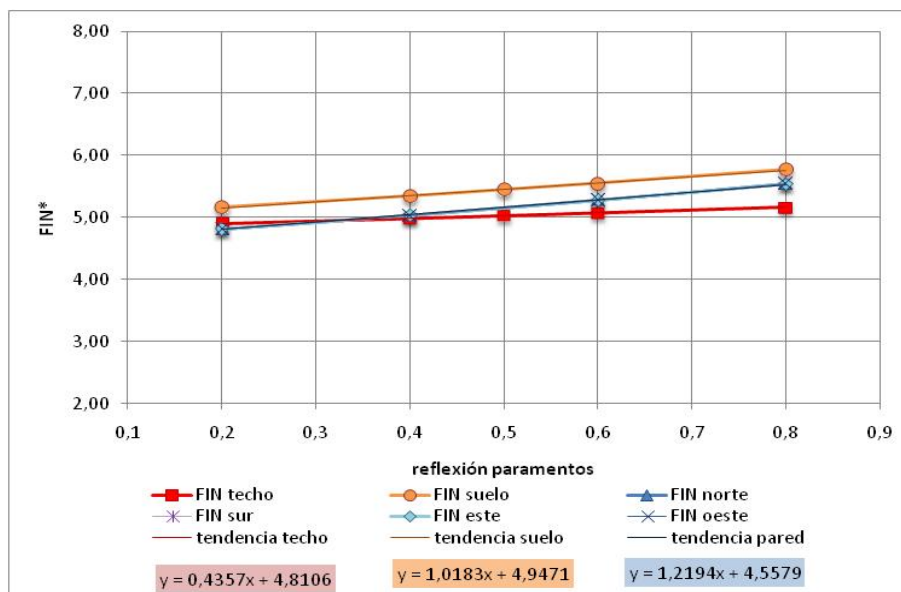


Como podemos observar las curvas para FIN med, FIN máx. y FIN mín. mantienen la misma forma aunque varían cuantitativamente.

También es cierto que en esta serie se cambian los coeficientes de reflexión de todas las paredes a la vez, luego es necesario un nuevo estudio para evaluar la influencia de una sola pared, cada una nombrada por su orientación. De esta forma obtenemos los siguientes resultados:

Nombre	Datos obtenidos con Lumen Micro 2000							
	E ext	E int (med)	FIN	FIN*	E int (máx)	FINmx	E int (mín)	FINmn
referencia	18845	884,4	<b>4,69</b>	<b>5,16</b>	1348,9	<b>7,16</b>	484,5	<b>2,57</b>
norte 0,2	18845	824,5	<b>4,38</b>	<b>4,81</b>	1295,3	<b>6,87</b>	423,2	<b>2,25</b>
norte 0,4	18845	862,5	<b>4,58</b>	<b>5,03</b>	1329,3	<b>7,05</b>	462	<b>2,45</b>
norte 0,6	18845	904,4	<b>4,80</b>	<b>5,28</b>	1366,8	<b>7,25</b>	494,4	<b>2,62</b>
norte 0,8	18845	949,8	<b>5,04</b>	<b>5,54</b>	1407,2	<b>7,47</b>	516,6	<b>2,74</b>
este 0,2	18845	824,5	<b>4,38</b>	<b>4,81</b>	1295,3	<b>6,87</b>	423,2	<b>2,25</b>
este 0,4	18845	862,5	<b>4,58</b>	<b>5,03</b>	1329,3	<b>7,05</b>	462	<b>2,45</b>
este 0,6	18845	904,4	<b>4,80</b>	<b>5,28</b>	1366,8	<b>7,25</b>	494,4	<b>2,62</b>
este 0,8	18845	949,8	<b>5,04</b>	<b>5,54</b>	1407,2	<b>7,47</b>	516,6	<b>2,74</b>
sur 0,2	18845	824,5	<b>4,38</b>	<b>4,81</b>	1295,3	<b>6,87</b>	423,1	<b>2,25</b>
sur 0,4	18845	862,5	<b>4,58</b>	<b>5,03</b>	1329,3	<b>7,05</b>	462	<b>2,45</b>
sur 0,6	18845	904,4	<b>4,80</b>	<b>5,28</b>	1366,8	<b>7,25</b>	494,4	<b>2,62</b>

sur 0,8	18845	949,8	<b>5,04</b>	<b>5,54</b>	1407,2	<b>7,47</b>	516,6	<b>2,74</b>
oeste 0,2	18845	824,5	<b>4,38</b>	<b>4,81</b>	1295,3	<b>6,87</b>	423,1	<b>2,25</b>
oeste 0,4	18845	862,5	<b>4,58</b>	<b>5,03</b>	1329,3	<b>7,05</b>	462	<b>2,45</b>
oeste 0,6	18845	904,4	<b>4,80</b>	<b>5,28</b>	1366,8	<b>7,25</b>	494,4	<b>2,62</b>
oeste 0,8	18845	949,8	<b>5,04</b>	<b>5,54</b>	1407,2	<b>7,47</b>	516,6	<b>2,74</b>
tec_0,2	18845	839,7	<b>4,46</b>	<b>4,90</b>	1299,2	<b>6,89</b>	451,3	<b>2,39</b>
tec_0,4	18845	853,5	<b>4,53</b>	<b>4,98</b>	1314,5	<b>6,98</b>	461,6	<b>2,45</b>
tec_0,5	18845	861	<b>4,57</b>	<b>5,03</b>	1322,9	<b>7,02</b>	467,2	<b>2,48</b>
tec_0,6	18845	868,7	<b>4,61</b>	<b>5,07</b>	1331,4	<b>7,07</b>	472,9	<b>2,51</b>
referencia	18845	884,4	<b>4,69</b>	<b>5,16</b>	1348,9	<b>7,16</b>	484,5	<b>2,57</b>
sue_0,4	18845	915,8	<b>4,86</b>	<b>5,35</b>	1378,2	<b>7,31</b>	510,1	<b>2,71</b>
sue_0,5	18845	933,3	<b>4,95</b>	<b>5,45</b>	1394,6	<b>7,40</b>	524,4	<b>2,78</b>
sue_0,6	18845	951,5	<b>5,05</b>	<b>5,55</b>	1411,6	<b>7,49</b>	539,2	<b>2,86</b>
sue_0,8	18845	988,8	<b>5,25</b>	<b>5,77</b>	1446,5	<b>7,68</b>	569,6	<b>3,02</b>



Como se puede observar en los resultados, cada una de las paredes por separado evoluciona de igual manera, adoptando prácticamente los mismos valores. En un estudio de los paramentos uno a uno tenemos tres líneas de tendencia que corresponden a tres situaciones distintas: plano del hueco (techo), plano opuesto al hueco (suelo) y plano perpendicular al hueco (pared).

Por la pendiente de la línea de tendencia para cada grupo se puede ver que el plano que contiene al hueco tiene menos influencia en el factor de iluminación natural que el plano opuesto, y éste menos relevancia que cualquiera de los planos perpendiculares al hueco. En un estudio posterior se analizará si guardan la misma relación cuando el hueco se sitúa en otro paramento.

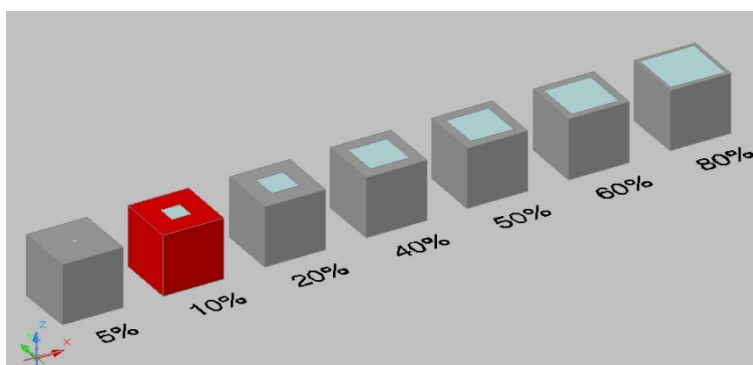
Nombre	Uniformidad	
	U med	U extr
referencia	<b>0,55</b>	<b>0,36</b>
norte 0,2	<b>0,51</b>	<b>0,33</b>
norte 0,4	<b>0,54</b>	<b>0,35</b>
norte 0,6	<b>0,55</b>	<b>0,36</b>
norte 0,8	<b>0,54</b>	<b>0,37</b>
este 0,2	<b>0,51</b>	<b>0,33</b>
este 0,4	<b>0,54</b>	<b>0,35</b>
este 0,6	<b>0,55</b>	<b>0,36</b>

este 0,8	<b>0,54</b>	<b>0,37</b>
sur 0,2	<b>0,51</b>	<b>0,33</b>
sur 0,4	<b>0,54</b>	<b>0,35</b>
sur 0,6	<b>0,55</b>	<b>0,36</b>
sur 0,8	<b>0,54</b>	<b>0,37</b>
oeste 0,2	<b>0,51</b>	<b>0,33</b>
oeste 0,4	<b>0,54</b>	<b>0,35</b>
oeste 0,6	<b>0,55</b>	<b>0,36</b>
oeste 0,8	<b>0,54</b>	<b>0,37</b>
tec_0,2	<b>0,54</b>	<b>0,35</b>
tec_0,4	<b>0,54</b>	<b>0,35</b>
tec_0,5	<b>0,54</b>	<b>0,35</b>
tec_0,6	<b>0,54</b>	<b>0,36</b>
referencia	<b>0,55</b>	<b>0,36</b>
sue_0,4	<b>0,56</b>	<b>0,37</b>
sue_0,5	<b>0,56</b>	<b>0,38</b>
sue_0,6	<b>0,57</b>	<b>0,38</b>
sue_0,8	<b>0,58</b>	<b>0,39</b>

Respecto al campo luminoso, la influencia de los coeficientes de reflexión sólo se evidencia cuantitativamente, ya que no modifica las características de la distribución de la luz en el plano de trabajo. Los coeficientes de uniformidad medio y extremo se mantienen en el mismo rango, por lo que la uniformidad del campo luminoso es similar cuando se varían los coeficientes de reflexión.

#### 5.2.1.2 SUPERFICIE RELATIVA DEL HUECO

Sabemos que a mayor tamaño de hueco mayor cantidad de luz entra en un espacio. En esta serie de variaciones se evalúa la influencia del tamaño del hueco, puesto en relación con las dimensiones de la planta del espacio iluminado, sobre el factor de iluminación natural medido en el plano de trabajo

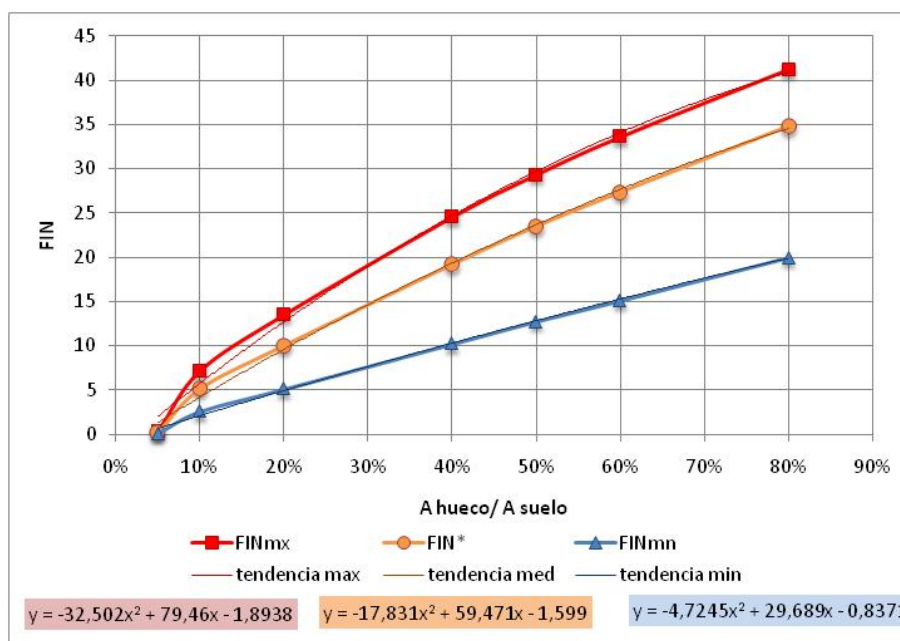


Introducido el modelo espacial con sus variaciones en el programa de cálculo, se obtienen los siguientes resultados:

Nombre	Datos obtenidos con Lumen Micro 2000							
	E ext	E int (med)	FIN	FIN*	E int (máx)	FINmx	E int (mín)	FINmn
S_5	18845	44,15	<b>0,23</b>	<b>0,26</b>	69,84	<b>0,37</b>	23,59	<b>0,13</b>
referencia	18845	884,4	<b>4,69</b>	<b>5,16</b>	1348,9	<b>7,16</b>	484,5	<b>2,57</b>
S_20	18845	1721	<b>9,13</b>	<b>10,05</b>	2545	<b>13,50</b>	963	<b>5,11</b>
S_40	18845	3289	<b>17,45</b>	<b>19,20</b>	4625	<b>24,54</b>	1925	<b>10,21</b>
S_50	18845	4027	<b>21,37</b>	<b>23,51</b>	5528	<b>29,33</b>	2405	<b>12,76</b>
S_60	18845	4687	<b>24,87</b>	<b>27,36</b>	6335	<b>33,62</b>	2850	<b>15,12</b>
S_80	18845	5962	<b>31,64</b>	<b>34,80</b>	7774	<b>41,25</b>	3769	<b>20,00</b>



Si a la representación gráfica de los resultados añadimos una línea de tendencia:



Podemos observar que, en el rango entre una superficie de hueco del 10% al 50% la superficie de suelo, el factor de iluminación natural aumenta en la misma proporción en que aumenta la superficie relativa del hueco.

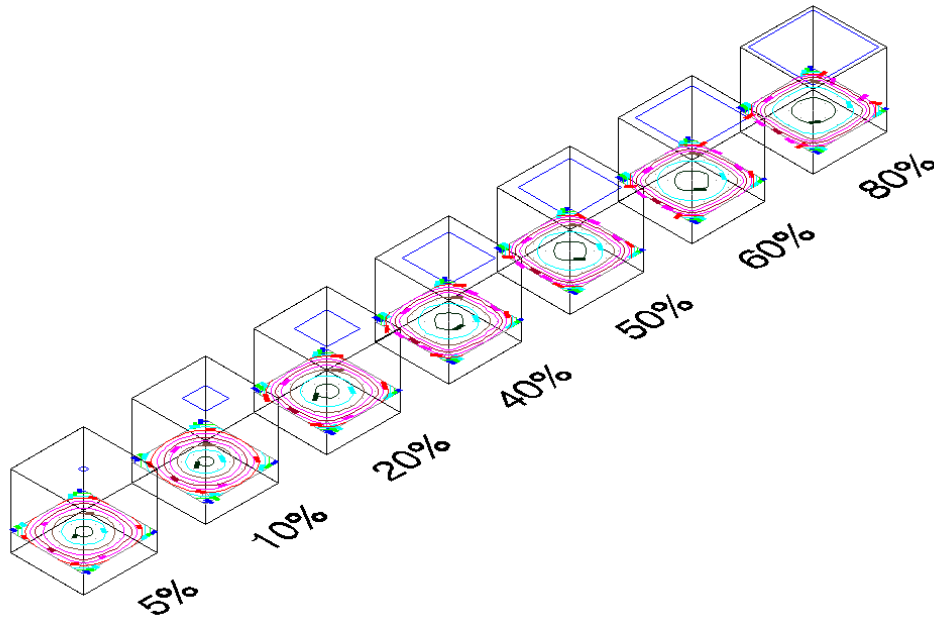
El factor de iluminación para un hueco del 20% es casi el doble que para un hueco del 10% la superficie de suelo, el correspondiente a un hueco del 40% es casi cuatro veces el valor de referencia y el valor para el hueco del 50% está muy cercano a cinco veces el factor de iluminación natural del hueco de referencia.

Tanto el rango de valores anterior y posterior del intervalo citado presentan pendientes diferentes. El rango anterior presenta una fuerte pendiente, que se puede deber a que no entran en juego las reflexiones interiores ya que, por su tamaño, la entrada de luz se asemeja a un único rayo (en este modelo espacial), por lo cual, en cuanto aumenta un poco la superficie relativa se producen reflexiones en los diferentes paramentos, aumentando el factor de iluminación natural en el plano de trabajo.

El rango posterior presenta una pendiente más suave, que se puede deber a la proximidad de los límites del hueco a los paramentos, de forma que apenas se perciben los efectos de la reflexión de los mismos.

Nombre	Uniformidad	
	U med	U extr
S_5	0,53	0,34
<b>referencia</b>	<b>0,55</b>	<b>0,36</b>
S_20	0,56	0,38
S_40	0,59	0,42
S_50	0,60	0,44
S_60	0,61	0,45
S_80	0,63	0,48

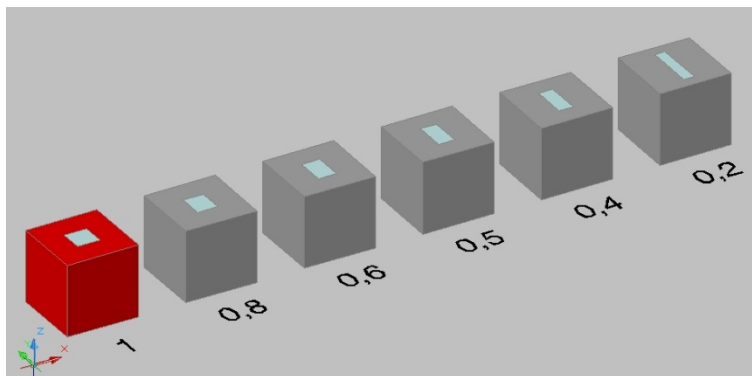
Al aumentar la superficie relativa aumenta el coeficiente de uniformidad medio y el coeficiente de uniformidad extremo.



Tal como podemos ver, el campo luminoso presenta las mismas características que el correspondiente al modelo de referencia; la diferencia reside en los niveles alcanzados. Al mantener la orientación y la posición relativa, las características del campo luminoso son similares.

### 5.2.1.3 COEFICIENTE DE FORMA DEL HUECO

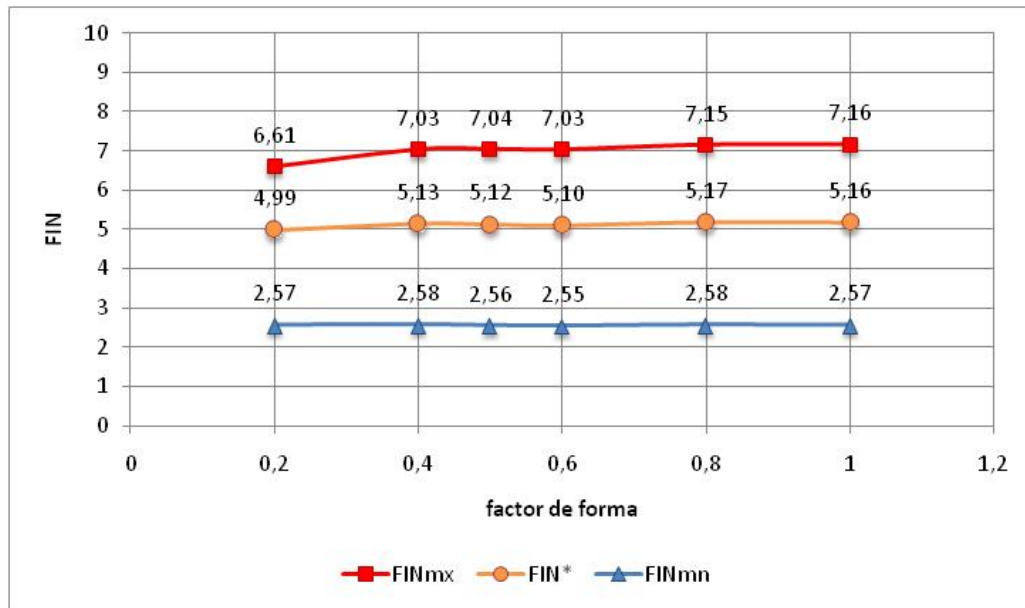
En este caso se ha puesto en relación las dimensiones de los lados del hueco para una misma superficie. El coeficiente de forma 1 implica que ambas dimensiones son iguales, por lo que, como el factor de forma de la planta también es 1 y el hueco está centrado, los límites del hueco a los paramentos son equidistantes.



A medida que disminuye el factor de forma, disminuye la dimensión X del hueco, aumentando la distancia a los paramentos Este y Oeste y aumenta la dimensión Y del hueco, disminuyendo la distancia a los paramentos Norte y Sur.

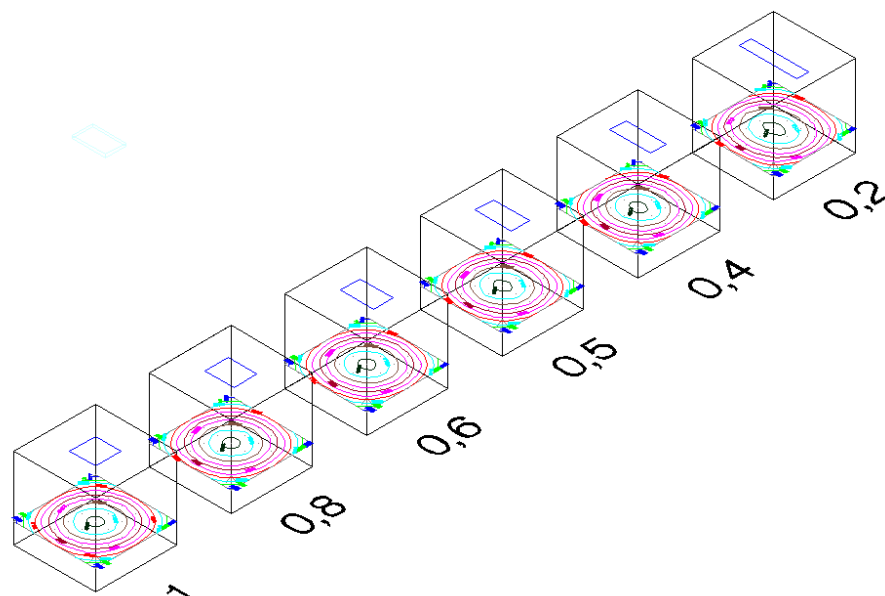
Nombre	Datos obtenidos con Lumen Micro 2000							
	E ext	E int (med)	FIN	FIN*	E int (máx)	FINmx	E int (mín)	FINmn
<b>referencia</b>	18845	884,4	<b>4,69</b>	<b>5,16</b>	1348,9	<b>7,16</b>	484,5	<b>2,57</b>
F_0,8	18845	885,4	<b>4,70</b>	<b>5,17</b>	1347,3	<b>7,15</b>	485,6	<b>2,58</b>
F_0,6	18845	873,1	<b>4,63</b>	<b>5,10</b>	1324,9	<b>7,03</b>	479,7	<b>2,55</b>
F_0,5	18845	876,5	<b>4,65</b>	<b>5,12</b>	1327,2	<b>7,04</b>	482,1	<b>2,56</b>
F_0,4	18845	879,5	<b>4,67</b>	<b>5,13</b>	1324,9	<b>7,03</b>	486,6	<b>2,58</b>
F_0,2	18845	854,4	<b>4,53</b>	<b>4,99</b>	1245,1	<b>6,61</b>	484,6	<b>2,57</b>

Si representamos el Factor de Iluminación Natural en función del coeficiente de forma del hueco:



Como podemos observar, apenas se producen variaciones en el factor de iluminación natural, la máxima variación se produce para huecos con un coeficiente de forma de 0,2 donde el valor es el 97% del valor de referencia.

Nombre	Uniformidad	
	U med	U extr
<b>referencia</b>	<b>0,55</b>	<b>0,36</b>
F_0,8	0,55	0,36
F_0,6	0,55	0,36
F_0,5	0,55	0,36
F_0,4	0,55	0,37
F_0,2	0,57	0,39



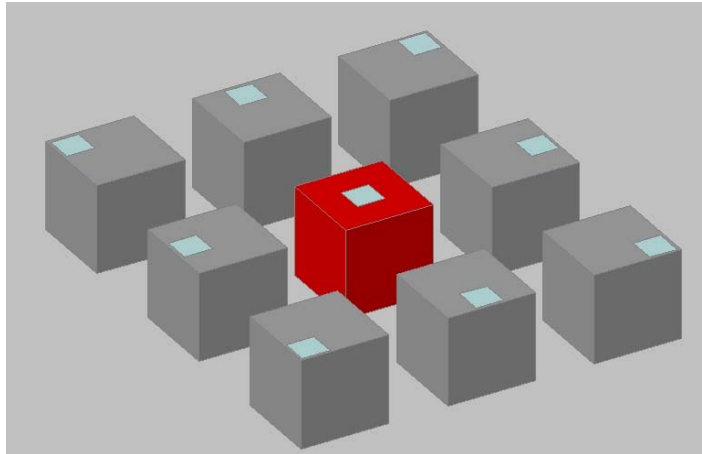
Campo luminoso según el coeficiente de forma (curvas isolux)

Tal como hemos visto, al mantener la orientación y la posición relativa del hueco, el campo luminoso en todos los casos presenta aproximadamente las mismas características. La

variación del coeficiente de forma se deja ver en la leve deformación de las curvas isolux, que tienden a convertirse en curvas elípticas

**5.2.1.4 POSICIÓN RELATIVA DEL HUECO EN EL PARAMENTO**

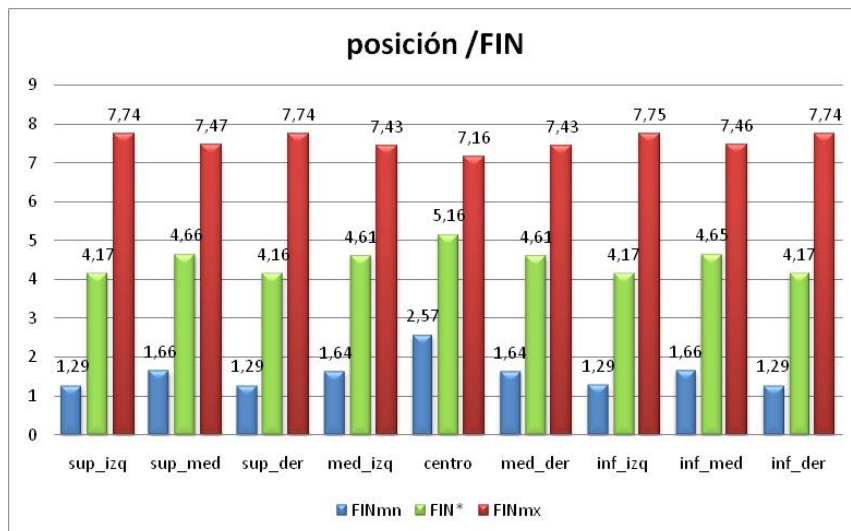
El hueco, posicionado en un paramento, puede entenderse como una superficie radiante de luz; en este sentido percibimos que al situarse en una posición central todo el haz de luz se distribuye en el espacio de forma uniforme, mientras que si se sitúa cerca de un paramento, éste condiciona la distribución de luz que “irradia” el hueco.



Introducido en el programa de cálculo el modelo con sus variaciones se obtienen los siguientes resultados:

Nombre	Datos obtenidos con Lumen Micro 2000							
	E ext	E int (med)	FIN	FIN*	E int (máx)	FINmx	E int (mín)	FINmn
P_SI	18845	713,8	<b>3,79</b>	<b>4,17</b>	1459,5	<b>7,74</b>	242,6	<b>1,29</b>
P_SM	18845	798,1	<b>4,24</b>	<b>4,66</b>	1407	<b>7,47</b>	313	<b>1,66</b>
P_SD	18845	713,3	<b>3,79</b>	<b>4,16</b>	1459	<b>7,74</b>	242,3	<b>1,29</b>
P_MI	18845	790,4	<b>4,19</b>	<b>4,61</b>	1400,9	<b>7,43</b>	308,4	<b>1,64</b>
<b>referencia</b>	<b>18845</b>	<b>884,4</b>	<b>4,69</b>	<b>5,16</b>	<b>1348,9</b>	<b>7,16</b>	<b>484,5</b>	<b>2,57</b>
P_MD	18845	790,1	<b>4,19</b>	<b>4,61</b>	1400,6	<b>7,43</b>	308,2	<b>1,64</b>
P_II	18845	714,2	<b>3,79</b>	<b>4,17</b>	1460	<b>7,75</b>	242,9	<b>1,29</b>
P_IM	18845	797,3	<b>4,23</b>	<b>4,65</b>	1405,4	<b>7,46</b>	313,3	<b>1,66</b>
P_ID	18845	713,8	<b>3,79</b>	<b>4,17</b>	1459,5	<b>7,74</b>	242,6	<b>1,29</b>

Si presentamos el Factor de Iluminación Natural en función de la posición relativa del hueco en el paramento:

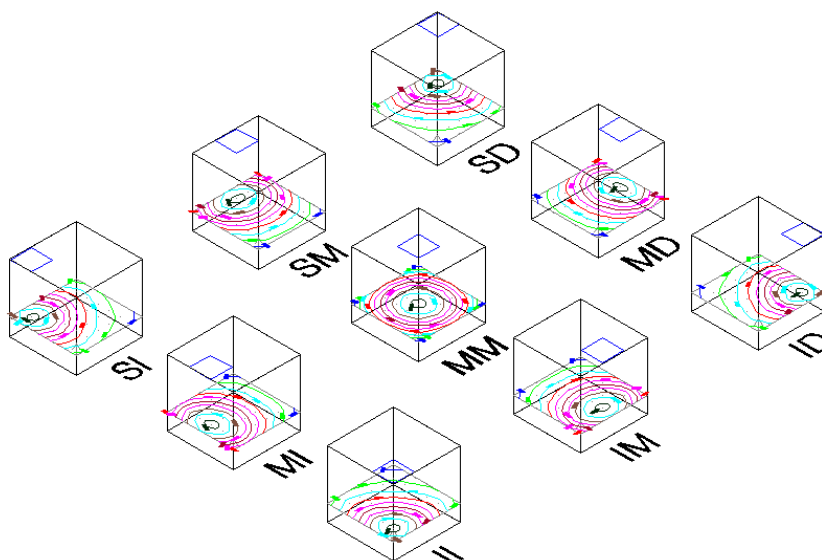


En esta serie hay tres grupos de valores que corresponden a tres situaciones distintas: hueco exento (centrado), hueco adyacente a un lado (lateral) y hueco adyacente a dos lados (esquina). Los valores se reducen al 90% en los huecos que tienen una adyacencia, y al 80% si se sitúan en las esquinas.

Como podemos observar FIN med y FIN min mantienen el mismo comportamiento mientras que la tendencia de FIN máx. es la inversa.

Nombre	Uniformidad	
	U med	U extr
P_SI	0,34	0,17
P_SM	0,39	0,22
P_SD	0,34	0,17
P_MI	0,39	0,22
<b>referencia</b>	<b>0,55</b>	<b>0,36</b>
P_MD	0,39	0,22
P_II	0,34	0,17
P_IM	0,39	0,22
P_ID	0,34	0,17

Respecto al campo luminoso también se distinguen tres situaciones distintas: hueco cenital centrado, hueco cenital lateral y hueco cenital en esquina. El coeficiente de uniformidad medio es de 0'4 para el hueco lateral y de 0'35 para el hueco en esquina, luego el cambio de posición relativa afecta a la uniformidad del campo luminoso.



Campo luminoso según la posición relativa del hueco (curvas isolux)

La relación entre el nivel mínimo y máximo en el hueco cenital es de 0'36, en el hueco lateral es de 0'22 y en el hueco en esquina es de 0'17, lo que indica que el nivel máximo de iluminación cae hasta el 22% y el 17%. La posición relativa afecta a la uniformidad y al rango de valores de iluminación en el plano de trabajo.

### 5.2.2 Variaciones de 2º Orden

La distribución de luz natural en el espacio se debe a la interacción de todas las variables que intervienen. Estas variaciones de 2º Orden se encaminan a conocer la relación entre las diversas variables, tomadas de dos en dos.

- Reflexión + Orientación
- Reflexión + Superficie relativa
- Reflexión + Coeficiente de forma

- Reflexión + Posición relativa
- Orientación + Superficie relativa
- Orientación + Coeficiente de forma
- Orientación + Posición relativa
- Superficie relativa + Coeficiente de forma
- Superficie relativa + Posición relativa
- Coeficiente de forma + Posición relativa

Aunque en la variación de 1º orden se estudió con más atención el efecto de la reflexión de las paredes una a una, para las variaciones de segundo orden se considera que el coeficiente de reflexión de las paredes cambia en todas a la vez, ya que normalmente todas las paredes suelen tener el mismo color y, por lo tanto, el mismo coeficiente de reflexión.

Como el Factor de Iluminación Natural no depende de la orientación, sólo se estudiarán los dos casos representativos (cenital y lateral) cuando se combine con otra variable.

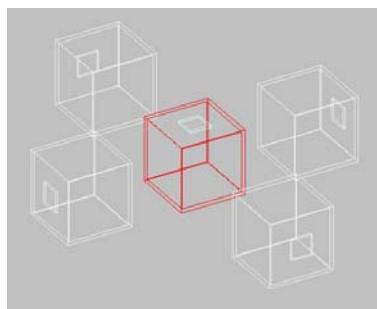
Del mismo modo, se observó que en los resultados de la variación de la posición relativa, las nueve posiciones se podían reducir en tres grupos para el caso de hueco cenital. Luego, en las variaciones de segundo orden donde intervenga la posición relativa del hueco orientado cenitalmente, sólo se estudiarán los tres casos tipo.

Cuando se combinan variables tomadas de dos en dos (variaciones de 2º orden) se producen ciertas incompatibilidades, como es el caso de combinar la superficie relativa del hueco con el coeficiente de forma. Ambas son variables que dependen de las dimensiones del hueco; la primera variable produce un incremento proporcional de las dos dimensiones del hueco mientras que la segunda modifica la relación entre las dos dimensiones para obtener la misma superficie.

Cuando ambas se combinan, a mayor superficie relativa de hueco existe menos margen de variación del coeficiente de forma. Por estas razones y por las conclusiones extraídas de las variaciones de 1º orden sobre la variable "coeficiente de forma" no se estudia la serie "Superficie relativa + Coeficiente de forma"

### 5.2.2.1 REFLEXIÓN + ORIENTACIÓN

En esta serie de variaciones se intenta esclarecer la relación entre el cambio de reflexión de los paramentos, puestos en relación con la orientación de la pared acristalada.



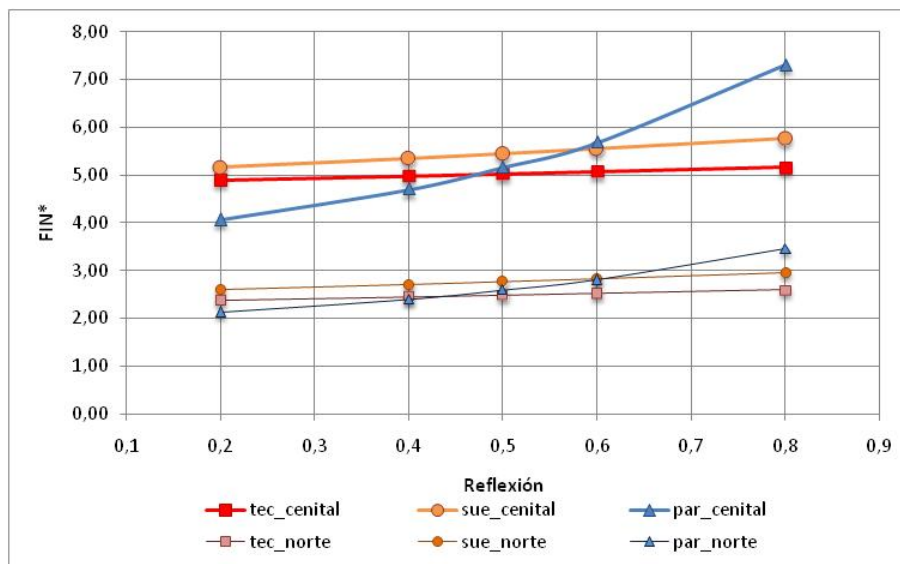
En el programa introducimos el modelo espacial utilizado para estudiar las variaciones de la orientación y se modifican los coeficientes de reflexión. Como se ha expuesto en el punto de variación de la orientación sólo se estudian dos casos, luz cenital y luz lateral, así que tomamos como referencia de la luz lateral la pared norte.

De las simulaciones obtenemos los siguientes resultados:

Nombre	Datos obtenidos con Lumen Micro 2000							
	E ext	E int (med)	FIN	FIN*	E int (máx)	FINmx	E int (mín)	FINmn
tec_0,2	18845	839,7	<b>4,46</b>	<b>4,90</b>	1299,2	<b>6,89</b>	451,3	<b>2,39</b>
tec_0,4	18845	853,5	<b>4,53</b>	<b>4,98</b>	1314,5	<b>6,98</b>	461,6	<b>2,45</b>
tec_0,5	18845	861	<b>4,57</b>	<b>5,03</b>	1322,9	<b>7,02</b>	467,2	<b>2,48</b>

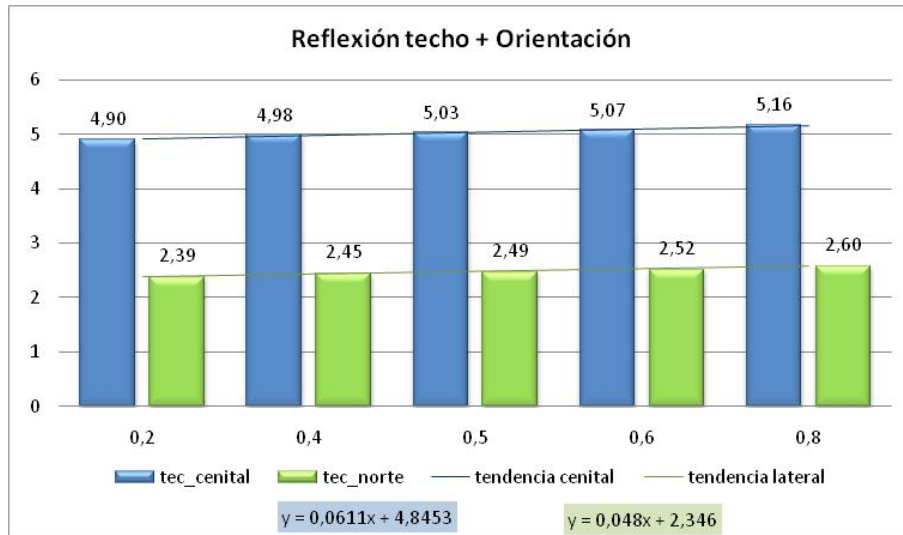
tec_0,6	18845	868,7	<b>4,61</b>	<b>5,07</b>	1331,4	<b>7,07</b>	472,9	<b>2,51</b>
<b>referencia</b>	18845	884,4	<b>4,69</b>	<b>5,16</b>	1348,9	<b>7,16</b>	484,5	<b>2,57</b>
sue_0,4	18845	915,8	<b>4,86</b>	<b>5,35</b>	1378,2	<b>7,31</b>	510,1	<b>2,71</b>
sue_0,5	18845	933,3	<b>4,95</b>	<b>5,45</b>	1394,6	<b>7,40</b>	524,4	<b>2,78</b>
sue_0,6	18845	951,5	<b>5,05</b>	<b>5,55</b>	1411,6	<b>7,49</b>	539,2	<b>2,86</b>
sue_0,8	18845	988,8	<b>5,25</b>	<b>5,77</b>	1446,5	<b>7,68</b>	569,6	<b>3,02</b>
par_0,2	18845	697,5	<b>3,70</b>	<b>4,07</b>	1180,3	<b>6,26</b>	347,2	<b>1,84</b>
par_0,4	18845	805	<b>4,27</b>	<b>4,70</b>	1277,6	<b>6,78</b>	424,8	<b>2,25</b>
<b>referencia</b>	18845	884,4	<b>4,69</b>	<b>5,16</b>	1348,9	<b>7,16</b>	484,5	<b>2,57</b>
par_0,6	18845	972,6	<b>5,16</b>	<b>5,68</b>	1427,5	<b>7,57</b>	552,4	<b>2,93</b>
par_0,8	18845	1251	<b>6,64</b>	<b>7,30</b>	1673	<b>8,88</b>	773	<b>4,10</b>
tec_0,2 N	18845	409,5	<b>2,17</b>	<b>2,39</b>	2607,1	<b>13,83</b>	46,1	<b>0,24</b>
tec_0,4 N	18845	420,3	<b>2,23</b>	<b>2,45</b>	2618,8	<b>13,90</b>	53,9	<b>0,29</b>
tec_0,5 N	18845	426,2	<b>2,26</b>	<b>2,49</b>	2625,1	<b>13,93</b>	58,2	<b>0,31</b>
tec_0,6 N	18845	432,3	<b>2,29</b>	<b>2,52</b>	2631,7	<b>13,96</b>	62,6	<b>0,33</b>
norte	18845	444,6	<b>2,36</b>	<b>2,60</b>	2645	<b>14,04</b>	71,6	<b>0,38</b>
sue_0,4 N	18845	463,1	<b>2,46</b>	<b>2,70</b>	2662,7	<b>14,13</b>	86,7	<b>0,46</b>
sue_0,5 N	18845	473,4	<b>2,51</b>	<b>2,76</b>	2672,6	<b>14,18</b>	95,1	<b>0,50</b>
sue_0,6 N	18845	484,1	<b>2,57</b>	<b>2,83</b>	2682,8	<b>14,24</b>	103,9	<b>0,55</b>
sue_0,8 N	18845	506,2	<b>2,69</b>	<b>2,95</b>	2704	<b>14,35</b>	122	<b>0,65</b>
par_0,2 N	18845	365,6	<b>1,94</b>	<b>2,13</b>	2587,1	<b>13,73</b>	24,7	<b>0,13</b>
par_0,4 N	18845	411,5	<b>2,18</b>	<b>2,40</b>	2619,8	<b>13,90</b>	50,5	<b>0,27</b>
norte	18845	444,6	<b>2,36</b>	<b>2,60</b>	2645	<b>14,04</b>	71,6	<b>0,38</b>
par_0,6 N	18845	482,1	<b>2,56</b>	<b>2,81</b>	2674,6	<b>14,19</b>	97	<b>0,51</b>
par_0,8 N	18845	592,7	<b>3,15</b>	<b>3,46</b>	2765,5	<b>14,67</b>	178,6	<b>0,95</b>

Si presentamos el Factor de Iluminación Natural en función del coeficiente de reflexión:

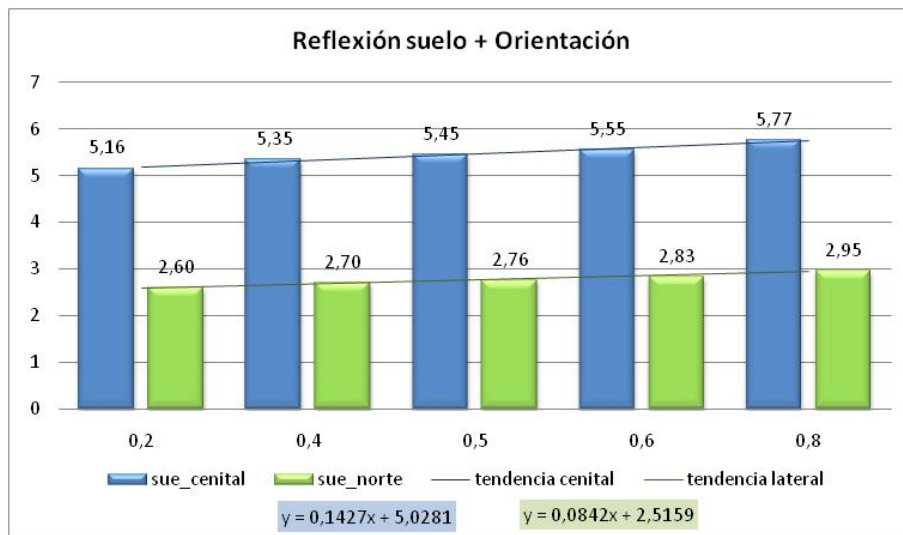


Como podemos ver en la gráfica con todos los resultados, tenemos dos grupos de resultados, los correspondientes al cambio de reflexión en techo, suelo y paredes para un hueco central y los correspondientes a los huecos situados en una pared: Norte, Sur, Este u Oeste. Se mantienen las mismas relaciones que se han descrito para las variaciones de 1º orden de la reflexión de los paramentos.

Si comparamos los resultados para cada orientación del hueco, parece que se mantienen las mismas leyes observadas para el cambio de orientación, donde los resultados para el hueco central duplican los valores obtenidos para el hueco situado en una pared lateral.



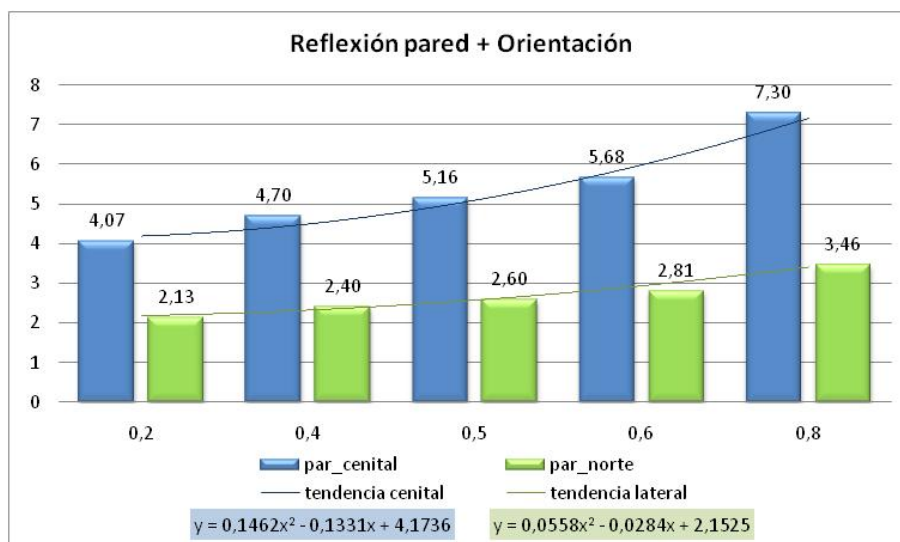
Las variaciones realizadas en la reflexión del techo en todos los casos apenas influyen en el factor de iluminación natural sobre el plano de trabajo. Además, en ambos casos, la pendiente de la línea de tendencia es muy similar. La influencia de la orientación del hueco se deja ver en el valor de partida de la línea de tendencia, siendo aproximadamente el doble para un hueco cenital.



En el supuesto de las variaciones sobre el coeficiente de reflexión en el suelo se distinguen dos casos: iluminación cenital e iluminación por cualquier otra orientación. En el primer caso el suelo es el paramento opuesto al hueco y parece que, por la pendiente de la línea de tendencia, tiene mayor influencia sobre la medida del factor de iluminación natural que en el segundo caso.

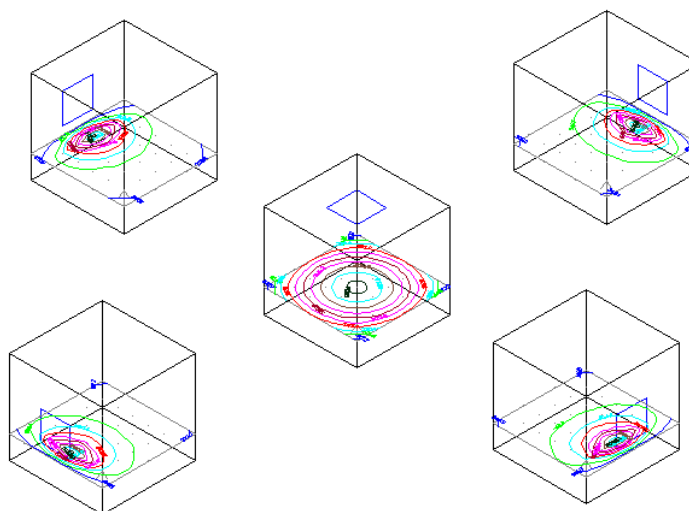
Tal como se pudo apreciar con anterioridad, en este segundo caso, las líneas de tendencia son muy similares, tanto en su pendiente como en el valor inicial; por lo que, para el caso de Cielo Nublado, sólo se producen diferencias apreciables entre iluminación cenital y lateral, sin importar la orientación de la misma.





Las variaciones realizadas en el coeficiente de reflexión de todas las paredes producen líneas de tendencia cuadráticas. Al igual que en las variaciones del suelo, se distinguen dos casos: iluminación cenital e iluminación lateral.

Tal como sucede en casos anteriores, la influencia de la orientación se deja ver en el valor inicial de la curva. Las líneas de tendencia son muy similares para los casos de iluminación lateral y se distinguen claramente de la línea de tendencia correspondiente al caso de iluminación cenital.



Campo luminoso según la orientación (curvas isolux)

Como se estudió en la variación de los coeficientes de reflexión, éstos sólo afectan al comportamiento del campo luminoso de forma cuantitativa, manteniendo las mismas características. Por tanto, el campo luminoso responde a la variación de la orientación.

Nombre	Uniformidad		Nombre	Uniformidad	
	U med	U extr		U med	U extr
tec_0,2	0,54	0,35	tec_0,2 N	0,11	0,02
tec_0,4	0,54	0,35	tec_0,4 N	0,13	0,02
tec_0,5	0,54	0,35	tec_0,5 N	0,14	0,02
tec_0,6	0,54	0,36	tec_0,6 N	0,14	0,02
<b>referencia</b>	<b>0,55</b>	<b>0,36</b>	<b>norte</b>	<b>0,16</b>	<b>0,03</b>
sue_0,4	0,56	0,37	sue_0,4 N	0,19	0,03

sue_0,5	<b>0,56</b>	<b>0,38</b>	sue_0,5 N	<b>0,20</b>	<b>0,04</b>
sue_0,6	<b>0,57</b>	<b>0,38</b>	sue_0,6 N	<b>0,21</b>	<b>0,04</b>
sue_0,8	<b>0,58</b>	<b>0,39</b>	sue_0,8 N	<b>0,24</b>	<b>0,05</b>
par_0,2	<b>0,50</b>	<b>0,29</b>	par_0,2 N	<b>0,07</b>	<b>0,01</b>
par_0,4	<b>0,53</b>	<b>0,33</b>	par_0,4 N	<b>0,12</b>	<b>0,02</b>
<b>referencia</b>	<b>0,55</b>	<b>0,36</b>	<b>norte</b>	<b>0,16</b>	<b>0,03</b>
par_0,6	<b>0,57</b>	<b>0,39</b>	par_0,6 N	<b>0,20</b>	<b>0,04</b>
par_0,8	<b>0,62</b>	<b>0,46</b>	par_0,8 N	<b>0,30</b>	<b>0,06</b>

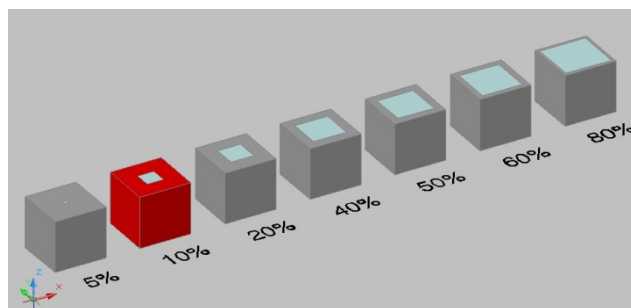
La influencia de los coeficientes de reflexión no modifica las características de la distribución de la luz en el plano de trabajo. Los coeficientes de uniformidad medio y extremo se mantienen en el mismo rango, por lo que la uniformidad del campo luminoso es similar cuando se varían los coeficientes de reflexión.

En cuanto a la influencia de la orientación se distinguen dos casos distintos: el campo proporcionado por el hueco cenital y el campo proporcionado por el hueco orientado según los puntos cardinales. En este segundo caso, el campo es independiente de la orientación, siendo los cuatro casos iguales.

El coeficiente de uniformidad medio y el coeficiente de uniformidad extremo indican una fuerte bajada del nivel de iluminación, por lo tanto un campo luminoso muy poco uniforme, con un nivel de iluminación máximo próximo a la ventana y una fuerte caída hacia la pared opuesta.

#### 5.2.2.2 REFLEXIÓN + SUPERFICIE RELATIVA

En esta serie de variaciones se intenta poner en relación la superficie relativa del hueco con la incidencia que tiene variar el coeficiente de reflexión de los paramentos



Para realizar esta variación se toma el modelo creado para estudiar la influencia de la superficie relativa y se modifican los coeficientes de reflexión de los paramentos, obteniendo los siguientes casos:

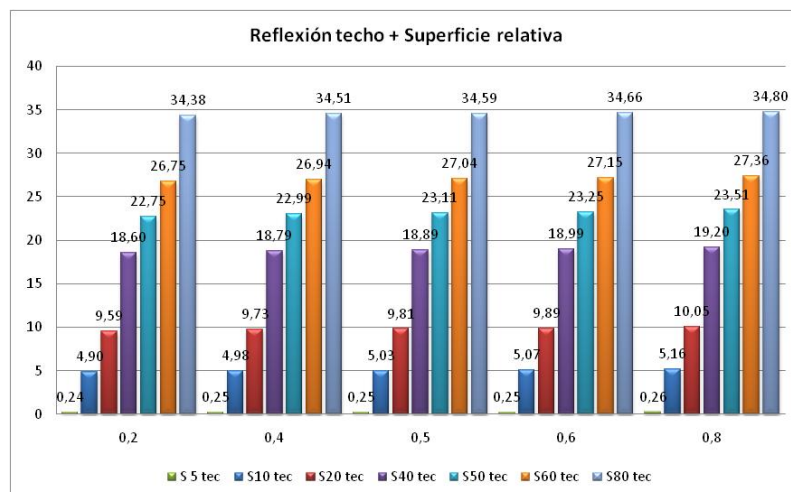
Estos modelos se han simulado bajo condiciones de cielo nublado y se han obtenido los siguientes resultados:

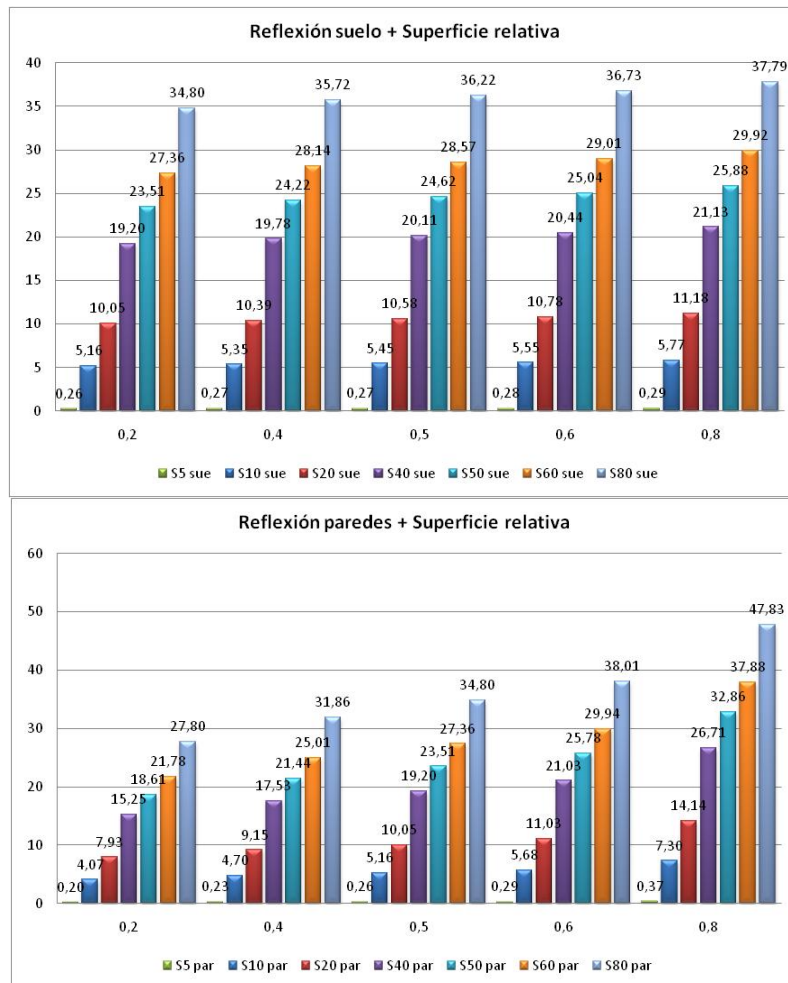
Nombre	Datos obtenidos con Lumen Micro 2000							
	E ext	E int (med)	FIN	FIN*	E int (máx)	FINmx	E int (mín)	FINmn
tec_0,2_S5	18845	41,56	<b>0,22</b>	<b>0,24</b>	66,83	<b>0,35</b>	21,7	<b>0,12</b>
tec_0,4_S5	18845	42,35	<b>0,22</b>	<b>0,25</b>	67,75	<b>0,36</b>	22,28	<b>0,12</b>
tec_0,5_S5	18845	42,79	<b>0,23</b>	<b>0,25</b>	68,25	<b>0,36</b>	22,6	<b>0,12</b>
tec_0,6_S5	18845	43,24	<b>0,23</b>	<b>0,25</b>	68,77	<b>0,36</b>	22,92	<b>0,12</b>
<b>S_5</b>	18845	43,99	<b>0,23</b>	<b>0,26</b>	69,69	<b>0,37</b>	23,46	<b>0,12</b>
sue_0,4_S5	18845	45,83	<b>0,24</b>	<b>0,27</b>	71,46	<b>0,38</b>	24,94	<b>0,13</b>
sue_0,5_S5	18845	46,77	<b>0,25</b>	<b>0,27</b>	72,36	<b>0,38</b>	25,69	<b>0,14</b>
sue_0,6_S5	18845	47,74	<b>0,25</b>	<b>0,28</b>	73,3	<b>0,39</b>	26,47	<b>0,14</b>
sue_0,8_S5	18845	49,75	<b>0,26</b>	<b>0,29</b>	75,24	<b>0,40</b>	28,08	<b>0,15</b>
par_0,2_S5	18845	34,64	<b>0,18</b>	<b>0,20</b>	61,19	<b>0,32</b>	16,62	<b>0,09</b>
par_0,4_S5	18845	40,1	<b>0,21</b>	<b>0,23</b>	66,16	<b>0,35</b>	20,55	<b>0,11</b>
<b>S_5</b>	18845	43,99	<b>0,23</b>	<b>0,26</b>	69,69	<b>0,37</b>	23,46	<b>0,12</b>

par_0,6_S5	18845	48,89	<b>0,26</b>	<b>0,29</b>	74,11	<b>0,39</b>	27,22	<b>0,14</b>
par_0,8_S5	18845	63,06	<b>0,33</b>	<b>0,37</b>	86,8	<b>0,46</b>	38,41	<b>0,20</b>
tec_0,2	18845	839,7	<b>4,46</b>	<b>4,90</b>	1299,2	<b>6,89</b>	451,3	<b>2,39</b>
tec_0,4	18845	853,5	<b>4,53</b>	<b>4,98</b>	1314,5	<b>6,98</b>	461,6	<b>2,45</b>
tec_0,5	18845	861	<b>4,57</b>	<b>5,03</b>	1322,9	<b>7,02</b>	467,2	<b>2,48</b>
tec_0,6	18845	868,7	<b>4,61</b>	<b>5,07</b>	1331,4	<b>7,07</b>	472,9	<b>2,51</b>
<b>referencia</b>	<b>18845</b>	<b>884,4</b>	<b>4,69</b>	<b>5,16</b>	<b>1348,9</b>	<b>7,16</b>	<b>484,5</b>	<b>2,57</b>
sue_0,4	18845	915,8	<b>4,86</b>	<b>5,35</b>	1378,2	<b>7,31</b>	510,1	<b>2,71</b>
sue_0,5	18845	933,3	<b>4,95</b>	<b>5,45</b>	1394,6	<b>7,40</b>	524,4	<b>2,78</b>
sue_0,6	18845	951,5	<b>5,05</b>	<b>5,55</b>	1411,6	<b>7,49</b>	539,2	<b>2,86</b>
sue_0,8	18845	988,8	<b>5,25</b>	<b>5,77</b>	1446,5	<b>7,68</b>	569,6	<b>3,02</b>
par_0,2	18845	697,5	<b>3,70</b>	<b>4,07</b>	1180,3	<b>6,26</b>	347,2	<b>1,84</b>
par_0,4	18845	805	<b>4,27</b>	<b>4,70</b>	1277,6	<b>6,78</b>	424,8	<b>2,25</b>
<b>referencia</b>	<b>18845</b>	<b>884,4</b>	<b>4,69</b>	<b>5,16</b>	<b>1348,9</b>	<b>7,16</b>	<b>484,5</b>	<b>2,57</b>
par_0,6	18845	972,6	<b>5,16</b>	<b>5,68</b>	1427,5	<b>7,57</b>	552,4	<b>2,93</b>
par_0,8	18845	1251	<b>6,64</b>	<b>7,30</b>	1673	<b>8,88</b>	773	<b>4,10</b>
tec_0,2_S20	18845	1643	<b>8,72</b>	<b>9,59</b>	2460	<b>13,05</b>	904	<b>4,80</b>
tec_0,4_S20	18845	1667	<b>8,85</b>	<b>9,73</b>	2486	<b>13,19</b>	923	<b>4,90</b>
tec_0,5_S20	18845	1680	<b>8,91</b>	<b>9,81</b>	2501	<b>13,27</b>	933	<b>4,95</b>
tec_0,6_S20	18845	1694	<b>8,99</b>	<b>9,89</b>	2516	<b>13,35</b>	943	<b>5,00</b>
<b>S_20</b>	<b>18845</b>	<b>1721</b>	<b>9,13</b>	<b>10,05</b>	<b>2545</b>	<b>13,50</b>	<b>963</b>	<b>5,11</b>
sue_0,4_S20	18845	1780	<b>9,45</b>	<b>10,39</b>	2599	<b>13,79</b>	1012	<b>5,37</b>
sue_0,5_S20	18845	1813	<b>9,62</b>	<b>10,58</b>	2629	<b>13,95</b>	1039	<b>5,51</b>
sue_0,6_20	18845	1846	<b>9,80</b>	<b>10,78</b>	2660	<b>14,12</b>	1066	<b>5,66</b>
sue_0,8_S20	18845	1916	<b>10,17</b>	<b>11,18</b>	2724	<b>14,45</b>	1124	<b>5,96</b>
par_0,2_S20	18845	1359	<b>7,21</b>	<b>7,93</b>	2219	<b>11,78</b>	697	<b>3,70</b>
par_0,4_S20	18845	1568	<b>8,32</b>	<b>9,15</b>	2408	<b>12,78</b>	848	<b>4,50</b>
<b>S_20</b>	<b>18845</b>	<b>1721</b>	<b>9,13</b>	<b>10,05</b>	<b>2545</b>	<b>13,50</b>	<b>963</b>	<b>5,11</b>
par_0,6_S20	18845	1890	<b>10,03</b>	<b>11,03</b>	2695	<b>14,30</b>	1093	<b>5,80</b>
par_0,8_S20	18845	2423	<b>12,86</b>	<b>14,14</b>	3164	<b>16,79</b>	1517	<b>8,05</b>
tec_0,2_S40	18845	3186	<b>16,91</b>	<b>18,60</b>	4520	<b>23,99</b>	1844	<b>9,79</b>
tec_0,4_S40	18845	3219	<b>17,08</b>	<b>18,79</b>	4553	<b>24,16</b>	1869	<b>9,92</b>
tec_0,5_S40	18845	3236	<b>17,17</b>	<b>18,89</b>	4571	<b>24,26</b>	1883	<b>9,99</b>
tec_0,6_S40	18845	3254	<b>17,27</b>	<b>18,99</b>	4589	<b>24,35</b>	1879	<b>9,97</b>
<b>S_40</b>	<b>18845</b>	<b>3289</b>	<b>17,45</b>	<b>19,20</b>	<b>4625</b>	<b>24,54</b>	<b>1925</b>	<b>10,21</b>
sue_0,4_S40	18845	3389	<b>17,98</b>	<b>19,78</b>	4713	<b>25,01</b>	2009	<b>10,66</b>
sue_0,5_S40	18845	3445	<b>18,28</b>	<b>20,11</b>	4762	<b>25,27</b>	2055	<b>10,90</b>
sue_0,6_S40	18845	3502	<b>18,58</b>	<b>20,44</b>	4813	<b>25,54</b>	2103	<b>11,16</b>
sue_0,8_S40	18845	3620	<b>19,21</b>	<b>21,13</b>	4917	<b>26,09</b>	2201	<b>11,68</b>
par_0,2_S40	18845	2613	<b>13,87</b>	<b>15,25</b>	4015	<b>21,31</b>	1425	<b>7,56</b>
par_0,4_S40	18845	3004	<b>15,94</b>	<b>17,53</b>	4371	<b>23,19</b>	1709	<b>9,07</b>
<b>S_40</b>	<b>18845</b>	<b>3289</b>	<b>17,45</b>	<b>19,20</b>	<b>4625</b>	<b>24,54</b>	<b>1925</b>	<b>10,21</b>
par_0,6_S40	18845	3603	<b>19,12</b>	<b>21,03</b>	4902	<b>26,01</b>	2168	<b>11,50</b>
par_0,8_S40	18845	4576	<b>24,28</b>	<b>26,71</b>	5748	<b>30,50</b>	2946	<b>15,63</b>
tec_0,2_S50	18845	3898	<b>20,68</b>	<b>22,75</b>	5396	<b>28,63</b>	2304	<b>12,23</b>
tec_0,4_S50	18845	3939	<b>20,90</b>	<b>22,99</b>	5437	<b>28,85</b>	2336	<b>12,40</b>
tec_0,5_S50	18845	3960	<b>21,01</b>	<b>23,11</b>	5460	<b>28,97</b>	2353	<b>12,49</b>
tec_0,6_S50	18845	3983	<b>21,14</b>	<b>23,25</b>	5482	<b>29,09</b>	2370	<b>12,58</b>
<b>S_50</b>	<b>18845</b>	<b>4027</b>	<b>21,37</b>	<b>23,51</b>	<b>5528</b>	<b>29,33</b>	<b>2405</b>	<b>12,76</b>
sue_0,4_S50	18845	4150	<b>22,02</b>	<b>24,22</b>	5636	<b>29,91</b>	2508	<b>13,31</b>
sue_0,5_S50	18845	4218	<b>22,38</b>	<b>24,62</b>	5697	<b>30,23</b>	2566	<b>13,62</b>

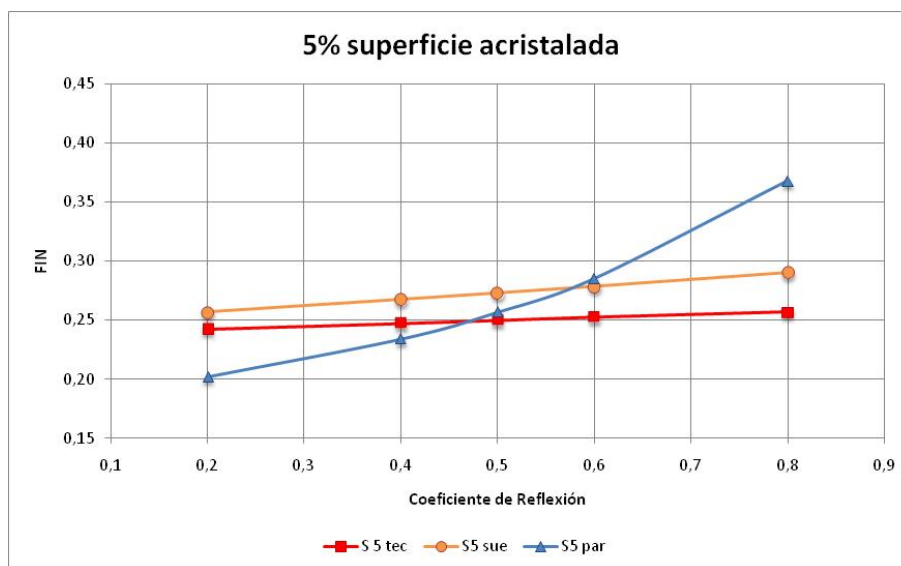
sue_0,6_S50	18845	4289	<b>22,76</b>	<b>25,04</b>	5759	<b>30,56</b>	2625	<b>13,93</b>
sue_0,8_S50	18845	4433	<b>23,52</b>	<b>25,88</b>	5886	<b>31,23</b>	2746	<b>14,57</b>
par_0,2_S50	18845	3189	<b>16,92</b>	<b>18,61</b>	4766	<b>25,29</b>	1785	<b>9,47</b>
par_0,4_S50	18845	3673	<b>19,49</b>	<b>21,44</b>	5209	<b>27,64</b>	2137	<b>11,34</b>
<b>S_50</b>	18845	4027	<b>21,37</b>	<b>23,51</b>	5528	<b>29,33</b>	2405	<b>12,76</b>
par_0,6_S50	18845	4417	<b>23,44</b>	<b>25,78</b>	5874	<b>31,17</b>	2708	<b>14,37</b>
par_0,8_S50	18845	5629	<b>29,87</b>	<b>32,86</b>	6932	<b>36,78</b>	3678	<b>19,52</b>
tec_0,2_S60	18845	4582	<b>24,31</b>	<b>26,75</b>	6229	<b>33,05</b>	2765	<b>14,67</b>
tec_0,4_S60	18845	4615	<b>24,49</b>	<b>26,94</b>	6262	<b>33,23</b>	2792	<b>14,82</b>
tec_0,5_S60	18845	4633	<b>24,58</b>	<b>27,04</b>	6280	<b>33,32</b>	2806	<b>14,89</b>
tec_0,6_S60	18845	4651	<b>24,68</b>	<b>27,15</b>	6298	<b>33,42</b>	2821	<b>14,97</b>
<b>S_60</b>	18845	4687	<b>24,87</b>	<b>27,36</b>	6335	<b>33,62</b>	2850	<b>15,12</b>
sue_0,4_S60	18845	4821	<b>25,58</b>	<b>28,14</b>	6450	<b>34,23</b>	2962	<b>15,72</b>
sue_0,5_S60	18845	4894	<b>25,97</b>	<b>28,57</b>	6514	<b>34,57</b>	3025	<b>16,05</b>
sue_0,6_S60	18845	4970	<b>26,37</b>	<b>29,01</b>	6579	<b>34,91</b>	3089	<b>16,39</b>
sue_0,8_S60	18845	5125	<b>27,20</b>	<b>29,92</b>	6714	<b>35,63</b>	3220	<b>17,09</b>
par_0,2_S60	18845	3731	<b>19,80</b>	<b>21,78</b>	5463	<b>28,99</b>	2142	<b>11,37</b>
par_0,4_S60	18845	4284	<b>22,73</b>	<b>25,01</b>	5972	<b>31,69</b>	2544	<b>13,50</b>
<b>S_60</b>	18845	4687	<b>24,87</b>	<b>27,36</b>	6335	<b>33,62</b>	2850	<b>15,12</b>
par_0,6_S60	18845	5129	<b>27,22</b>	<b>29,94</b>	6726	<b>35,69</b>	3192	<b>16,94</b>
par_0,8_S60	18845	6489	<b>34,43</b>	<b>37,88</b>	7909	<b>41,97</b>	4282	<b>22,72</b>
tec_0,2_S80	18845	5890	<b>31,25</b>	<b>34,38</b>	7704	<b>40,88</b>	3709	<b>19,68</b>
tec_0,4_S80	18845	5913	<b>31,38</b>	<b>34,51</b>	7727	<b>41,00</b>	3728	<b>19,78</b>
tec_0,5_S80	18845	5926	<b>31,45</b>	<b>34,59</b>	7739	<b>41,07</b>	3738	<b>19,84</b>
tec_0,6_S80	18845	5938	<b>31,51</b>	<b>34,66</b>	7751	<b>41,13</b>	3749	<b>19,89</b>
<b>S_80</b>	18845	5962	<b>31,64</b>	<b>34,80</b>	7774	<b>41,25</b>	3769	<b>20,00</b>
sue_0,4_S80	18845	6119	<b>32,47</b>	<b>35,72</b>	7907	<b>41,96</b>	3902	<b>20,71</b>
sue_0,5_S80	18845	6205	<b>32,93</b>	<b>36,22</b>	7981	<b>42,35</b>	3975	<b>21,09</b>
sue_0,6_S80	18845	6293	<b>33,39</b>	<b>36,73</b>	8056	<b>42,75</b>	4051	<b>21,50</b>
sue_0,8_S80	18845	6474	<b>34,35</b>	<b>37,79</b>	8209	<b>43,56</b>	4205	<b>22,31</b>
par_0,2_S80	18845	4762	<b>25,27</b>	<b>27,80</b>	6669	<b>35,39</b>	2881	<b>15,29</b>
par_0,4_S80	18845	5458	<b>28,96</b>	<b>31,86</b>	7317	<b>38,83</b>	3386	<b>17,97</b>
<b>S_80</b>	18845	5962	<b>31,64</b>	<b>34,80</b>	7774	<b>41,25</b>	3769	<b>20,00</b>
par_0,6_S80	18845	6512	<b>34,56</b>	<b>38,01</b>	8264	<b>43,85</b>	4197	<b>22,27</b>
par_0,8_S80	18845	8195	<b>43,49</b>	<b>47,83</b>	9731	<b>51,64</b>	5546	<b>29,43</b>

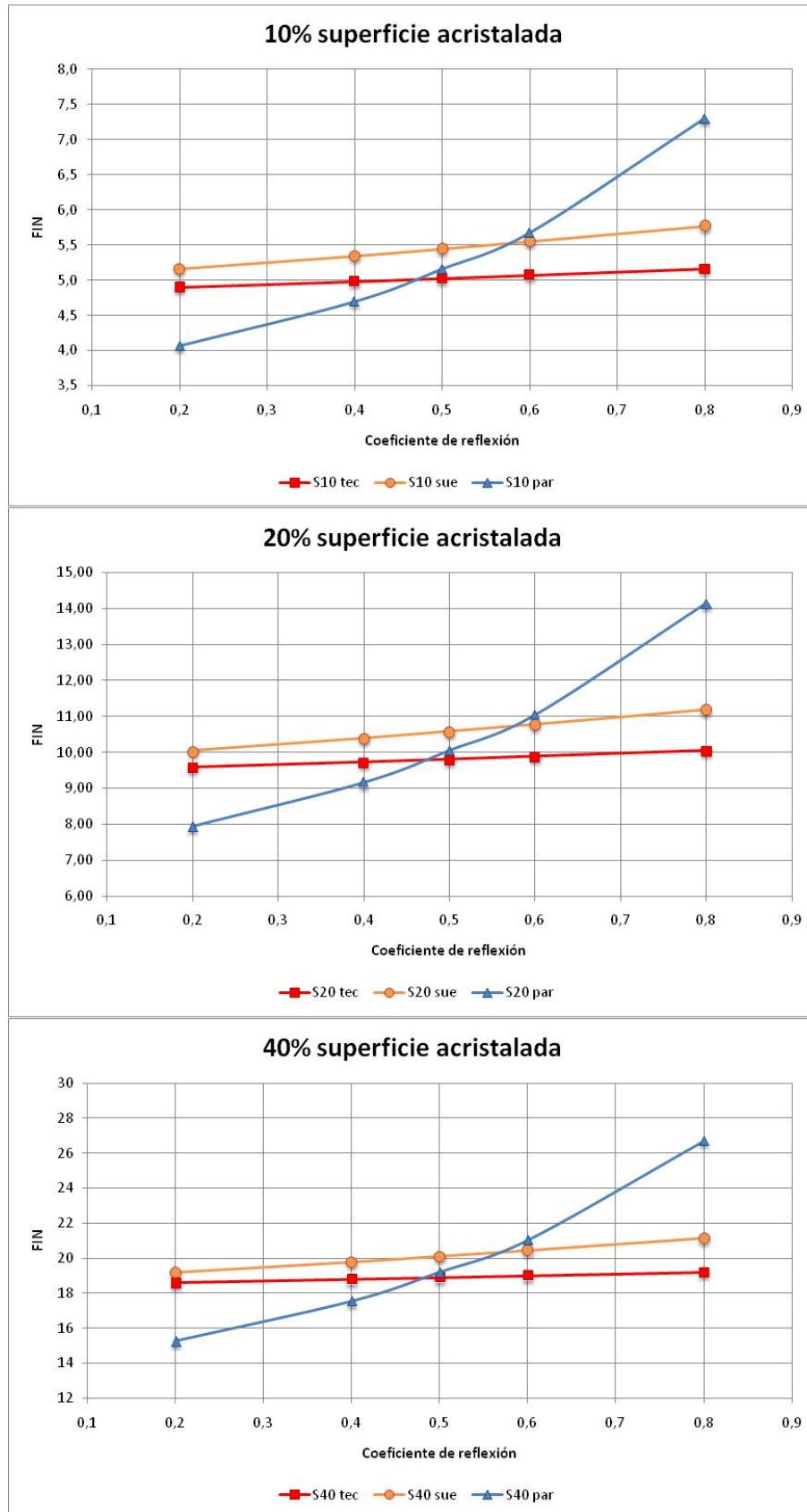
Si presentamos el Factor de Iluminación Natural en función del coeficiente de reflexión para cada superficie relativa:

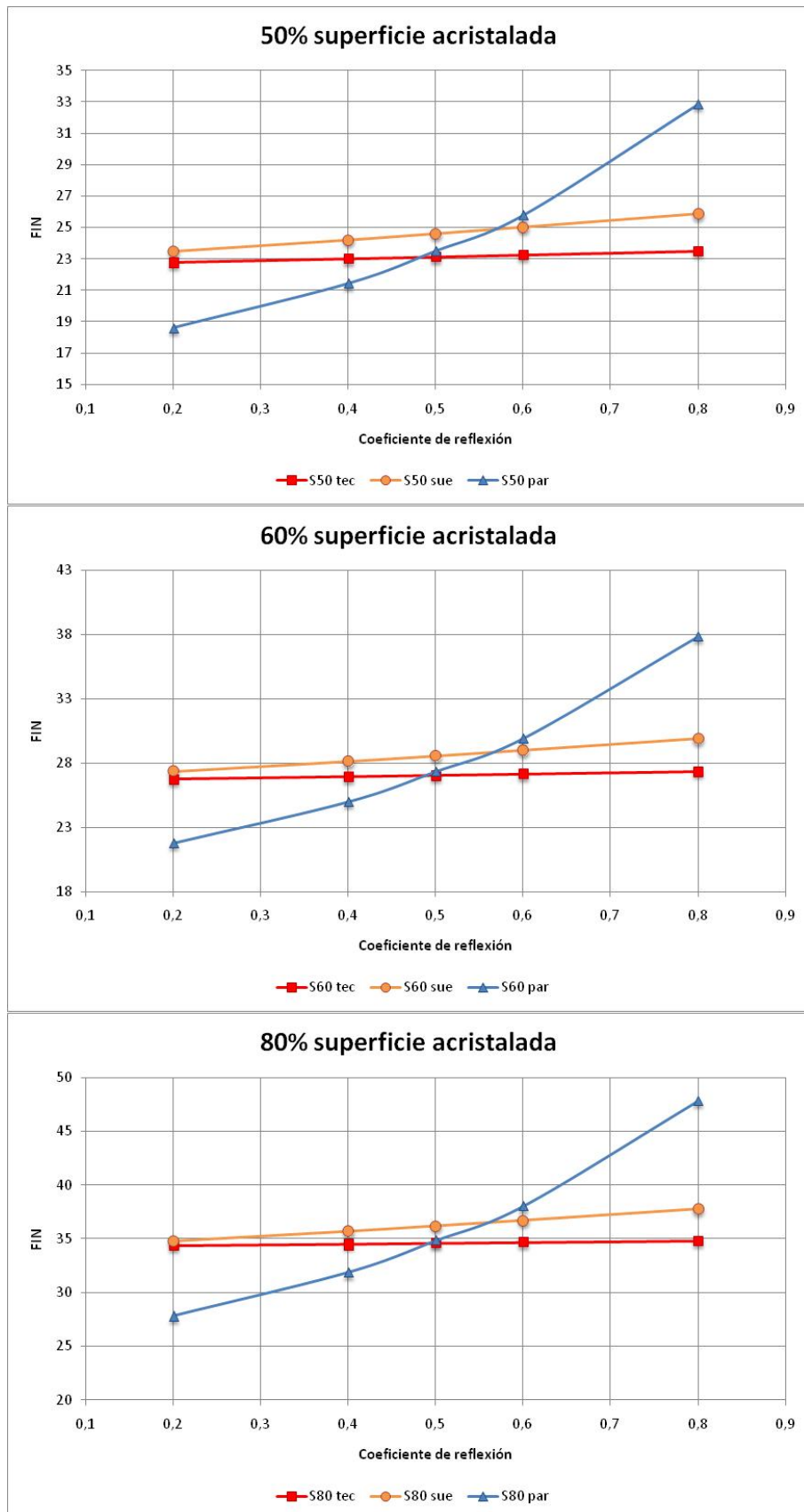




Al comparar los resultados en función del paramento que cambia de coeficiente de reflexión parece que se mantiene la relación expuesta para la variación de superficie relativa, donde al aumentar la superficie relativa del hueco, aumenta el factor de iluminación natural de forma proporcional.





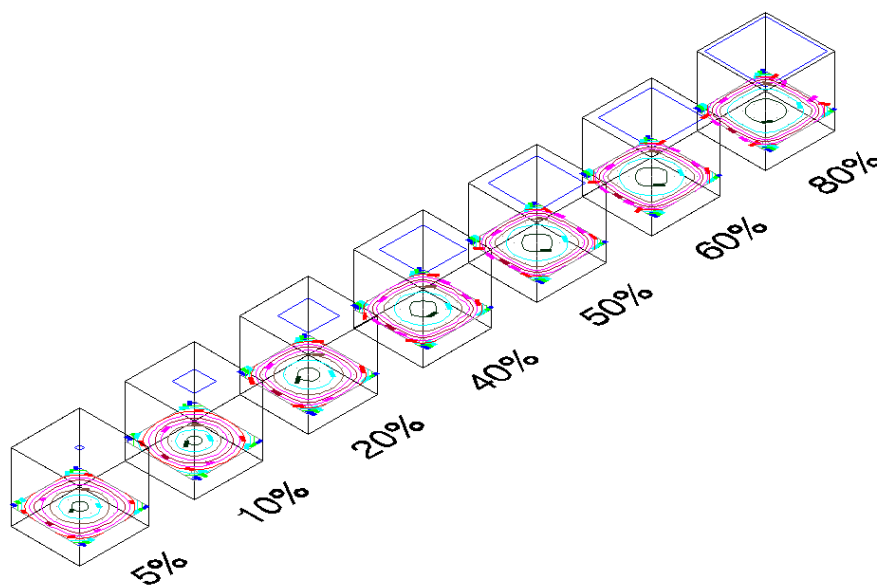


También podemos observar que al aumentar la superficie relativa del hueco, disminuye la superficie de techo, por lo que, si en otros casos apenas tenía influencia sobre el factor de iluminación natural, en este caso los valores son prácticamente constantes. Se puede ver cómo

la pendiente de la línea de tendencia para los diferentes valores de reflexión del techo disminuye a medida que aumentamos la superficie relativa del hueco.

Al aumentar la superficie relativa, aumenta la superficie de suelo que “ve” el cielo, pero parece que el efecto de la reflexión de la luz en el suelo es muy débil, ya que los valores obtenidos para el factor de iluminación natural son muy similares. Aún así, parece que al aumentar la superficie relativa aumenta la influencia del coeficiente de reflexión del suelo ya que la pendiente de la línea de tendencia es mayor cuanto mayor es el hueco.

Donde se aprecia la influencia del coeficiente de reflexión sobre el factor de iluminación es en el tercer caso, cuando se altera la reflexión de todas las paredes. Se observa que el factor de iluminación natural es mayor cuando aumenta el coeficiente de reflexión de las paredes y la superficie relativa del hueco. Como se puede ver la pendiente de la línea de tendencia para los diferentes valores de de reflexión de las paredes es mayor al aumentar la superficie relativa del hueco.



Campo luminoso según la superficie relativa del hueco (curvas isolux)

La variación de los coeficientes de reflexión sólo afecta al comportamiento del campo luminoso de forma cuantitativa, manteniendo las mismas características. Por tanto, el campo luminoso responde a la variación de la superficie relativa, eso quiere decir que al aumentar la superficie relativa aumenta el coeficiente de uniformidad medio y el coeficiente de uniformidad extremo.

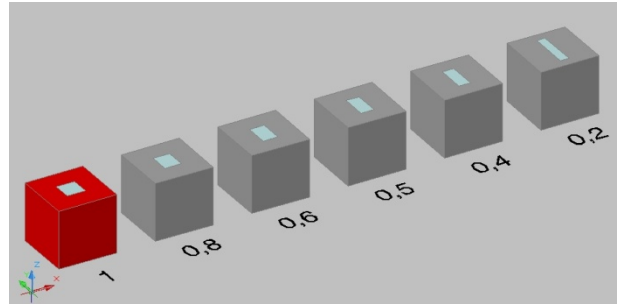
Nombre	Uniformidad		Nombre	Uniformidad	
	U med	U extr		U med	U extr
tec_0,2_S5	0,52	0,32	tec_0,2	0,54	0,35
tec_0,4_S5	0,53	0,33	tec_0,4	0,54	0,35
tec_0,5_S5	0,53	0,33	tec_0,5	0,54	0,35
tec_0,6_S5	0,53	0,33	tec_0,6	0,54	0,36
<b>S_5</b>	<b>0,53</b>	<b>0,34</b>	<b>referencia</b>	<b>0,55</b>	<b>0,36</b>
sue_0,4_S5	0,54	0,35	sue_0,4	0,56	0,37
sue_0,5_S5	0,55	0,36	sue_0,5	0,56	0,38
sue_0,6_S5	0,55	0,36	sue_0,6	0,57	0,38
sue_0,8_S5	0,56	0,37	sue_0,8	0,58	0,39
par_0,2_S5	0,48	0,27	par_0,2	0,50	0,29
par_0,4_S5	0,51	0,31	par_0,4	0,53	0,33
<b>S_5</b>	<b>0,53</b>	<b>0,34</b>	<b>referencia</b>	<b>0,55</b>	<b>0,36</b>
par_0,6_S5	0,56	0,37	par_0,6	0,57	0,39



par_0,8_S5	<b>0,61</b>	<b>0,44</b>	par_0,8	<b>0,62</b>	<b>0,46</b>
tec_0,2_S20	<b>0,55</b>	<b>0,37</b>	tec_0,2_S40	<b>0,58</b>	<b>0,41</b>
tec_0,4_S20	<b>0,55</b>	<b>0,37</b>	tec_0,4_S40	<b>0,58</b>	<b>0,41</b>
tec_0,5_S20	<b>0,56</b>	<b>0,37</b>	tec_0,5_S40	<b>0,58</b>	<b>0,41</b>
tec_0,6_S20	<b>0,56</b>	<b>0,37</b>	tec_0,6_S40	<b>0,58</b>	<b>0,41</b>
<b>S_20</b>	<b>0,56</b>	<b>0,38</b>	<b>S_40</b>	<b>0,59</b>	<b>0,42</b>
sue_0,4_S20	<b>0,57</b>	<b>0,39</b>	sue_0,4_S40	<b>0,59</b>	<b>0,43</b>
sue_0,5_S20	<b>0,57</b>	<b>0,40</b>	sue_0,5_S40	<b>0,60</b>	<b>0,43</b>
sue_0,6_S20	<b>0,58</b>	<b>0,40</b>	sue_0,6_S40	<b>0,60</b>	<b>0,44</b>
sue_0,8_S20	<b>0,59</b>	<b>0,41</b>	sue_0,8_S40	<b>0,61</b>	<b>0,45</b>
par_0,2_S20	<b>0,51</b>	<b>0,31</b>	par_0,2_S40	<b>0,55</b>	<b>0,35</b>
par_0,4_S20	<b>0,54</b>	<b>0,35</b>	par_0,4_S40	<b>0,57</b>	<b>0,39</b>
<b>S_20</b>	<b>0,56</b>	<b>0,38</b>	<b>S_40</b>	<b>0,59</b>	<b>0,42</b>
par_0,6_S20	<b>0,58</b>	<b>0,41</b>	par_0,6_S40	<b>0,60</b>	<b>0,44</b>
par_0,8_S20	<b>0,63</b>	<b>0,48</b>	par_0,8_S40	<b>0,64</b>	<b>0,51</b>
tec_0,2_S50	<b>0,59</b>	<b>0,43</b>	tec_0,2_S60	<b>0,60</b>	<b>0,44</b>
tec_0,4_S50	<b>0,59</b>	<b>0,43</b>	tec_0,4_S60	<b>0,60</b>	<b>0,45</b>
tec_0,5_S50	<b>0,59</b>	<b>0,43</b>	tec_0,5_S60	<b>0,61</b>	<b>0,45</b>
tec_0,6_S50	<b>0,60</b>	<b>0,43</b>	tec_0,6_S60	<b>0,61</b>	<b>0,45</b>
<b>S_50</b>	<b>0,60</b>	<b>0,44</b>	<b>S_60</b>	<b>0,61</b>	<b>0,45</b>
sue_0,4_S50	<b>0,60</b>	<b>0,44</b>	sue_0,4_S60	<b>0,61</b>	<b>0,46</b>
sue_0,5_S50	<b>0,61</b>	<b>0,45</b>	sue_0,5_S60	<b>0,62</b>	<b>0,46</b>
sue_0,6_S50	<b>0,61</b>	<b>0,46</b>	sue_0,6_S60	<b>0,62</b>	<b>0,47</b>
sue_0,8_S50	<b>0,62</b>	<b>0,47</b>	sue_0,8_S60	<b>0,63</b>	<b>0,48</b>
par_0,2_S50	<b>0,56</b>	<b>0,37</b>	par_0,2_S60	<b>0,57</b>	<b>0,39</b>
par_0,4_S50	<b>0,58</b>	<b>0,41</b>	par_0,4_S60	<b>0,59</b>	<b>0,43</b>
<b>S_50</b>	<b>0,60</b>	<b>0,44</b>	<b>S_60</b>	<b>0,61</b>	<b>0,45</b>
par_0,6_S50	<b>0,61</b>	<b>0,46</b>	par_0,6_S60	<b>0,62</b>	<b>0,47</b>
par_0,8_S50	<b>0,65</b>	<b>0,53</b>	par_0,8_S60	<b>0,66</b>	<b>0,54</b>
tec_0,2_S80	<b>0,63</b>	<b>0,48</b>			
tec_0,4_S80	<b>0,63</b>	<b>0,48</b>			
tec_0,5_S80	<b>0,63</b>	<b>0,48</b>			
tec_0,6_S80	<b>0,63</b>	<b>0,48</b>			
<b>S_80</b>	<b>0,63</b>	<b>0,48</b>			
sue_0,4_S80	<b>0,64</b>	<b>0,49</b>			
sue_0,5_S80	<b>0,64</b>	<b>0,50</b>			
sue_0,6_S80	<b>0,64</b>	<b>0,50</b>			
sue_0,8_S80	<b>0,65</b>	<b>0,51</b>			
par_0,2_S80	<b>0,60</b>	<b>0,43</b>			
par_0,4_S80	<b>0,62</b>	<b>0,46</b>			
<b>S_80</b>	<b>0,63</b>	<b>0,48</b>			
par_0,6_S80	<b>0,64</b>	<b>0,51</b>			
par_0,8_S80	<b>0,68</b>	<b>0,57</b>			

### 5.2.2.3 REFLEXIÓN + COEFICIENTE DE FORMA

En esta serie de variaciones se pretende relacionar el efecto de cambiar la reflexión de los paramentos, sumado al efecto de variar la forma del hueco

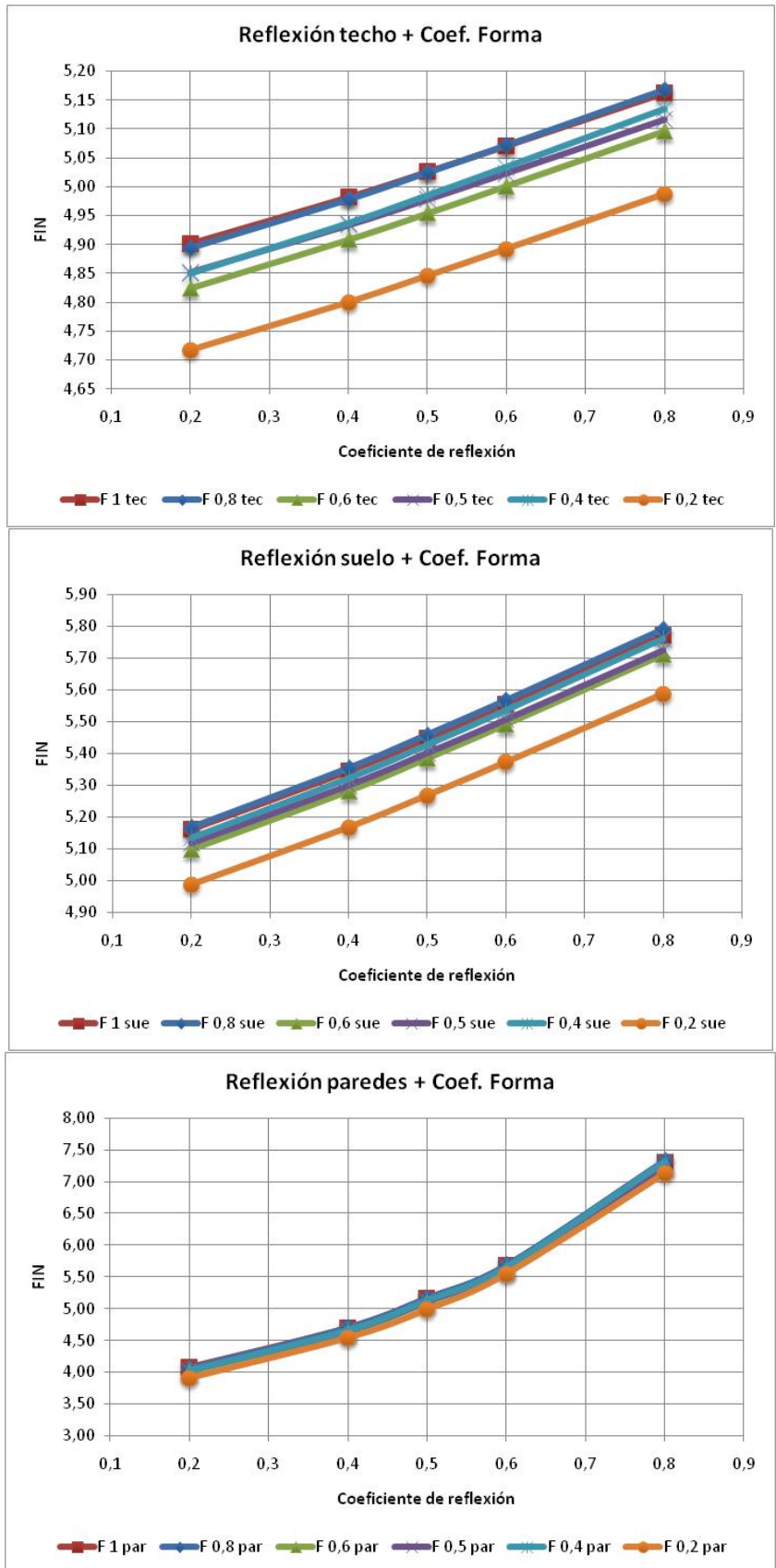


Para realizar esta variación se toma el modelo creado para estudiar la influencia del coeficiente de forma del hueco y se modifican los coeficientes de reflexión de los paramentos, dando los siguientes resultados:

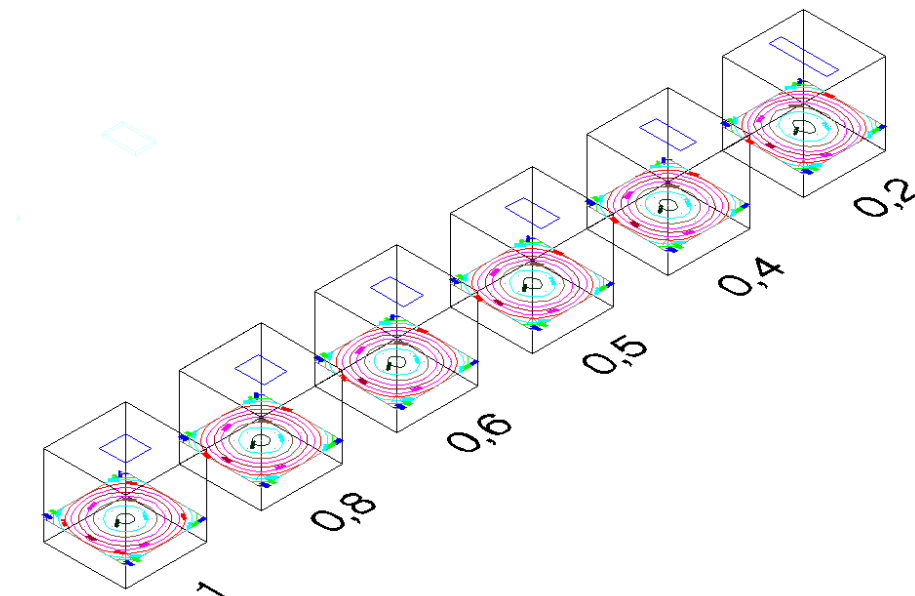
Nombre	Datos obtenidos con Lumen Micro 2000							
	E ext	E int (med)	FIN	FIN*	E int (máx)	FINmx	E int (mín)	FINmn
tec_0,2	18845	839,7	<b>4,46</b>	<b>4,90</b>	1299,2	<b>6,89</b>	451,3	<b>2,39</b>
tec_0,4	18845	853,5	<b>4,53</b>	<b>4,98</b>	1314,5	<b>6,98</b>	461,6	<b>2,45</b>
tec_0,5	18845	861	<b>4,57</b>	<b>5,03</b>	1322,9	<b>7,02</b>	467,2	<b>2,48</b>
tec_0,6	18845	868,7	<b>4,61</b>	<b>5,07</b>	1331,4	<b>7,07</b>	472,9	<b>2,51</b>
<b>referencia</b>	18845	884,4	<b>4,69</b>	<b>5,16</b>	1348,9	<b>7,16</b>	484,5	<b>2,57</b>
sue_0,4	18845	915,8	<b>4,86</b>	<b>5,35</b>	1378,2	<b>7,31</b>	510,1	<b>2,71</b>
sue_0,5	18845	933,3	<b>4,95</b>	<b>5,45</b>	1394,6	<b>7,40</b>	524,4	<b>2,78</b>
sue_0,6	18845	951,5	<b>5,05</b>	<b>5,55</b>	1411,6	<b>7,49</b>	539,2	<b>2,86</b>
sue_0,8	18845	988,8	<b>5,25</b>	<b>5,77</b>	1446,5	<b>7,68</b>	569,6	<b>3,02</b>
par_0,2	18845	697,5	<b>3,70</b>	<b>4,07</b>	1180,3	<b>6,26</b>	347,2	<b>1,84</b>
par_0,4	18845	805	<b>4,27</b>	<b>4,70</b>	1277,6	<b>6,78</b>	424,8	<b>2,25</b>
<b>referencia</b>	18845	884,4	<b>4,69</b>	<b>5,16</b>	1348,9	<b>7,16</b>	484,5	<b>2,57</b>
par_0,6	18845	972,6	<b>5,16</b>	<b>5,68</b>	1427,5	<b>7,57</b>	552,4	<b>2,93</b>
par_0,8	18845	1251	<b>6,64</b>	<b>7,30</b>	1673	<b>8,88</b>	773	<b>4,10</b>
F0,8 tec_0,2	18845	838,3	<b>4,45</b>	<b>4,89</b>	1294,3	<b>6,87</b>	450,9	<b>2,39</b>
F0,8 tec_0,4	18845	852,8	<b>4,53</b>	<b>4,98</b>	1310,6	<b>6,95</b>	461,5	<b>2,45</b>
F0,8 tec_0,5	18845	860,8	<b>4,57</b>	<b>5,02</b>	1319,5	<b>7,00</b>	467,4	<b>2,48</b>
F0,8 tec_0,6	18845	868,9	<b>4,61</b>	<b>5,07</b>	1328,7	<b>7,05</b>	473,4	<b>2,51</b>
<b>F_0,8</b>	18845	885,4	<b>4,70</b>	<b>5,17</b>	1347,3	<b>7,15</b>	485,6	<b>2,58</b>
F0,8 sue_0,4	18845	917,4	<b>4,87</b>	<b>5,35</b>	1377,5	<b>7,31</b>	511,6	<b>2,71</b>
F0,8 sue_0,5	18845	935,3	<b>4,96</b>	<b>5,46</b>	1394,4	<b>7,40</b>	526,1	<b>2,79</b>
F0,8 sue_0,6	18845	953,8	<b>5,06</b>	<b>5,57</b>	1411,8	<b>7,49</b>	541,1	<b>2,87</b>
F0,8 sue_0,8	18845	992	<b>5,26</b>	<b>5,79</b>	1447,9	<b>7,68</b>	572,1	<b>3,04</b>
F0,8 par_0,2	18845	696,8	<b>3,70</b>	<b>4,07</b>	1176,4	<b>6,24</b>	347,1	<b>1,84</b>
F0,8 par_0,4	18845	805,8	<b>4,28</b>	<b>4,70</b>	1275,6	<b>6,77</b>	425,5	<b>2,26</b>
<b>F_0,8</b>	18845	885,4	<b>4,70</b>	<b>5,17</b>	1347,3	<b>7,15</b>	485,6	<b>2,58</b>
F0,8 par_0,6	18845	974,7	<b>5,17</b>	<b>5,69</b>	1427,2	<b>7,57</b>	554,2	<b>2,94</b>
F0,8 par_0,8	18845	1257	<b>6,67</b>	<b>7,34</b>	1678	<b>8,90</b>	778	<b>4,13</b>
F0,6 tec_0,2	18845	826,5	<b>4,39</b>	<b>4,82</b>	1272,5	<b>6,75</b>	445,3	<b>2,36</b>
F0,6 tec_0,4	18845	840,9	<b>4,46</b>	<b>4,91</b>	1288,6	<b>6,84</b>	455,9	<b>2,42</b>
F0,6 tec_0,5	18845	848,7	<b>4,50</b>	<b>4,95</b>	1297,4	<b>6,88</b>	461,7	<b>2,45</b>
F0,6 tec_0,6	18845	856,8	<b>4,55</b>	<b>5,00</b>	1306,5	<b>6,93</b>	467,6	<b>2,48</b>
<b>F_0,6</b>	18845	873,1	<b>4,63</b>	<b>5,10</b>	1324,9	<b>7,03</b>	479,7	<b>2,55</b>
F0,6 sue_0,4	18845	904,7	<b>4,80</b>	<b>5,28</b>	1354,8	<b>7,19</b>	505,3	<b>2,68</b>
F0,6 sue_0,5	18845	922,4	<b>4,89</b>	<b>5,38</b>	1371,4	<b>7,28</b>	519,7	<b>2,76</b>
F0,6 sue_0,6	18845	940,7	<b>4,99</b>	<b>5,49</b>	1388,6	<b>7,37</b>	534,5	<b>2,84</b>
F0,6 sue_0,8	18845	978,4	<b>5,19</b>	<b>5,71</b>	1424,2	<b>7,56</b>	565,1	<b>3,00</b>

F0,6 par_0,2	18845	686,2	<b>3,64</b>	<b>4,01</b>	1155,3	<b>6,13</b>	342,2	<b>1,82</b>
F0,6 par_0,4	18845	793,7	<b>4,21</b>	<b>4,63</b>	1253,3	<b>6,65</b>	420	<b>2,23</b>
<b>F_0,6</b>	<b>18845</b>	<b>873,1</b>	<b>4,63</b>	<b>5,10</b>	<b>1324,9</b>	<b>7,03</b>	<b>479,7</b>	<b>2,55</b>
F0,6 par_0,6	18845	961,4	<b>5,10</b>	<b>5,61</b>	1404	<b>7,45</b>	547,6	<b>2,91</b>
F0,6 par_0,8	18845	1241	<b>6,59</b>	<b>7,24</b>	1652	<b>8,77</b>	769	<b>4,08</b>
F0,5 tec_0,2	18845	831,2	<b>4,41</b>	<b>4,85</b>	1276,6	<b>6,77</b>	448,6	<b>2,38</b>
F0,5 tec_0,4	18845	845,2	<b>4,49</b>	<b>4,93</b>	1292,2	<b>6,86</b>	459	<b>2,44</b>
F0,5 tec_0,5	18845	852,8	<b>4,53</b>	<b>4,98</b>	1300,7	<b>6,90</b>	464,6	<b>2,47</b>
F0,5 tec_0,6	18845	860,6	<b>4,57</b>	<b>5,02</b>	1309,5	<b>6,95</b>	470,4	<b>2,50</b>
<b>F_0,5</b>	<b>18845</b>	<b>876,5</b>	<b>4,65</b>	<b>5,12</b>	<b>1327,2</b>	<b>7,04</b>	<b>482,1</b>	<b>2,56</b>
F0,5 sue_0,4	18845	907,8	<b>4,82</b>	<b>5,30</b>	1356,6	<b>7,20</b>	507,7	<b>2,69</b>
F0,5 sue_0,5	18845	925,3	<b>4,91</b>	<b>5,40</b>	1373	<b>7,29</b>	521,9	<b>2,77</b>
F0,5 sue_0,6	18845	943,4	<b>5,01</b>	<b>5,51</b>	1390	<b>7,38</b>	536,6	<b>2,85</b>
F0,5 sue_0,8	18845	980,8	<b>5,20</b>	<b>5,73</b>	1425,1	<b>7,56</b>	567	<b>3,01</b>
F0,5 par_0,2	18845	689,9	<b>3,66</b>	<b>4,03</b>	1158,2	<b>6,15</b>	345	<b>1,83</b>
F0,5 par_0,4	18845	797,2	<b>4,23</b>	<b>4,65</b>	1255,8	<b>6,66</b>	422,5	<b>2,24</b>
<b>F_0,5</b>	<b>18845</b>	<b>876,5</b>	<b>4,65</b>	<b>5,12</b>	<b>1327,2</b>	<b>7,04</b>	<b>482,1</b>	<b>2,56</b>
F0,5 par_0,6	18845	964,6	<b>5,12</b>	<b>5,63</b>	1406,1	<b>7,46</b>	550	<b>2,92</b>
F0,5 par_0,8	18845	1243	<b>6,60</b>	<b>7,26</b>	1653	<b>8,77</b>	771	<b>4,09</b>
F0,4 tec_0,2	18845	830,9	<b>4,41</b>	<b>4,85</b>	1269,7	<b>6,74</b>	451	<b>2,39</b>
F0,4 tec_0,4	18845	845,8	<b>4,49</b>	<b>4,94</b>	1286,6	<b>6,83</b>	461,9	<b>2,45</b>
F0,4 tec_0,5	18845	854	<b>4,53</b>	<b>4,98</b>	1295,9	<b>6,88</b>	468	<b>2,48</b>
F0,4 tec_0,6	18845	862,4	<b>4,58</b>	<b>5,03</b>	1305,5	<b>6,93</b>	474,1	<b>2,52</b>
<b>F_0,4</b>	<b>18845</b>	<b>879,5</b>	<b>4,67</b>	<b>5,13</b>	<b>1324,9</b>	<b>7,03</b>	<b>486,6</b>	<b>2,58</b>
F0,4 sue_0,4	18845	911,7	<b>4,84</b>	<b>5,32</b>	1355,5	<b>7,19</b>	512,8	<b>2,72</b>
F0,4 sue_0,5	18845	929,7	<b>4,93</b>	<b>5,43</b>	1372,6	<b>7,28</b>	527,3	<b>2,80</b>
F0,4 sue_0,6	18845	948,4	<b>5,03</b>	<b>5,54</b>	1390,3	<b>7,38</b>	542,4	<b>2,88</b>
F0,4 sue_0,8	18845	986,9	<b>5,24</b>	<b>5,76</b>	1426,9	<b>7,57</b>	573,6	<b>3,04</b>
F0,4 par_0,2	18845	689,8	<b>3,66</b>	<b>4,03</b>	1151,6	<b>6,11</b>	347,5	<b>1,84</b>
F0,4 par_0,4	18845	798,7	<b>4,24</b>	<b>4,66</b>	1251,5	<b>6,64</b>	426	<b>2,26</b>
<b>F_0,4</b>	<b>18845</b>	<b>879,5</b>	<b>4,67</b>	<b>5,13</b>	<b>1324,9</b>	<b>7,03</b>	<b>486,6</b>	<b>2,58</b>
F0,4 par_0,6	18845	969,5	<b>5,14</b>	<b>5,66</b>	1406	<b>7,46</b>	555,9	<b>2,95</b>
F0,4 par_0,8	18845	1255	<b>6,66</b>	<b>7,33</b>	1661	<b>8,81</b>	782	<b>4,15</b>
F0,2 tec_0,2	18845	808,2	<b>4,29</b>	<b>4,72</b>	1192,8	<b>6,33</b>	450,5	<b>2,39</b>
F0,2 tec_0,4	18845	822,4	<b>4,36</b>	<b>4,80</b>	1208,9	<b>6,41</b>	461	<b>2,45</b>
F0,2 tec_0,5	18845	830,2	<b>4,41</b>	<b>4,85</b>	1217,7	<b>6,46</b>	466,7	<b>2,48</b>
F0,2 tec_0,6	18845	838,2	<b>4,45</b>	<b>4,89</b>	1226,7	<b>6,51</b>	472,6	<b>2,51</b>
<b>F_0,2</b>	<b>18845</b>	<b>854,4</b>	<b>4,53</b>	<b>4,99</b>	<b>1245,1</b>	<b>6,61</b>	<b>484,6</b>	<b>2,57</b>
F0,2 sue_0,4	18845	885,4	<b>4,70</b>	<b>5,17</b>	1274,3	<b>6,76</b>	509,7	<b>2,70</b>
F0,2 sue_0,5	18845	902,6	<b>4,79</b>	<b>5,27</b>	1290,6	<b>6,85</b>	523,7	<b>2,78</b>
F0,2 sue_0,6	18845	920,5	<b>4,88</b>	<b>5,37</b>	1307,5	<b>6,94</b>	538,1	<b>2,86</b>
F0,2 sue_0,8	18845	957,3	<b>5,08</b>	<b>5,59</b>	1342,3	<b>7,12</b>	568	<b>3,01</b>
F0,2 par_0,2	18845	669,2	<b>3,55</b>	<b>3,91</b>	1074,1	<b>5,70</b>	348,6	<b>1,85</b>
F0,2 par_0,4	18845	778,1	<b>4,13</b>	<b>4,54</b>	1175,2	<b>6,24</b>	427,1	<b>2,27</b>
<b>F_0,2</b>	<b>18845</b>	<b>854,4</b>	<b>4,53</b>	<b>4,99</b>	<b>1245,1</b>	<b>6,61</b>	<b>484,6</b>	<b>2,57</b>
F0,2 par_0,6	18845	950,7	<b>5,04</b>	<b>5,55</b>	1332,4	<b>7,07</b>	558,7	<b>2,96</b>
F0,2 par_0,8	18845	1222	<b>6,48</b>	<b>7,13</b>	1575	<b>8,36</b>	774	<b>4,11</b>

Si representamos el Factor de Iluminación Natural en función del coeficiente de reflexión para cada coeficiente de forma del hueco:



Tal como podemos observar, el coeficiente de forma apenas influye en la evolución del factor de iluminación natural cuando se varía el coeficiente de reflexión, ya sea en techo, suelo o paredes. Las curvas sólo se diferencian en el valor inicial, y aún así, son valores muy similares.



Campo luminoso según el coeficiente de forma (curvas isolux)

La variación de los coeficientes de reflexión sólo afecta al comportamiento del campo luminoso de forma cuantitativa, manteniendo las mismas características. Por tanto, el campo luminoso responde a la variación del coeficiente de forma del hueco.

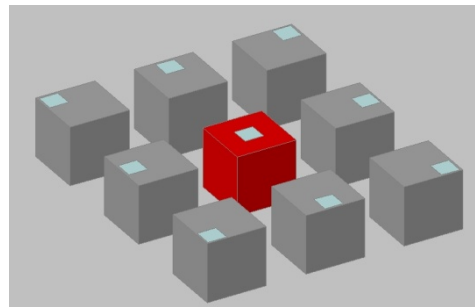
Nombre	Uniformidad		Nombre	Uniformidad	
	U med	U extr		U med	U extr
tec_0,2	0,54	0,35	F0,8 tec_0,2	0,54	0,35
tec_0,4	0,54	0,35	F0,8 tec_0,4	0,54	0,35
tec_0,5	0,54	0,35	F0,8 tec_0,5	0,54	0,35
tec_0,6	0,54	0,36	F0,8 tec_0,6	0,54	0,36
<b>referencia</b>	<b>0,55</b>	<b>0,36</b>	<b>F_0,8</b>	<b>0,55</b>	<b>0,36</b>
sue_0,4	0,56	0,37	F0,8 sue_0,4	0,56	0,37
sue_0,5	0,56	0,38	F0,8 sue_0,5	0,56	0,38
sue_0,6	0,57	0,38	F0,8 sue_0,6	0,57	0,38
sue_0,8	0,58	0,39	F0,8 sue_0,8	0,58	0,40
par_0,2	0,50	0,29	F0,8 par_0,2	0,50	0,30
par_0,4	0,53	0,33	F0,8 par_0,4	0,53	0,33
<b>referencia</b>	<b>0,55</b>	<b>0,36</b>	<b>F_0,8</b>	<b>0,55</b>	<b>0,36</b>
par_0,6	0,57	0,39	F0,8 par_0,6	0,57	0,39
par_0,8	0,62	0,46	F0,8 par_0,8	0,62	0,46
F0,6 tec_0,2	0,54	0,35	F0,5 tec_0,2	0,54	0,35
F0,6 tec_0,4	0,54	0,35	F0,5 tec_0,4	0,54	0,36
F0,6 tec_0,5	0,54	0,36	F0,5 tec_0,5	0,54	0,36
F0,6 tec_0,6	0,55	0,36	F0,5 tec_0,6	0,55	0,36
<b>F_0,6</b>	<b>0,55</b>	<b>0,36</b>	<b>F_0,5</b>	<b>0,55</b>	<b>0,36</b>
F0,6 sue_0,4	0,56	0,37	F0,5 sue_0,4	0,56	0,37
F0,6 sue_0,5	0,56	0,38	F0,5 sue_0,5	0,56	0,38
F0,6 sue_0,6	0,57	0,38	F0,5 sue_0,6	0,57	0,39
F0,6 sue_0,8	0,58	0,40	F0,5 sue_0,8	0,58	0,40
F0,6 par_0,2	0,50	0,30	F0,5 par_0,2	0,50	0,30
F0,6 par_0,4	0,53	0,34	F0,5 par_0,4	0,53	0,34

<b>F_0,6</b>	<b>0,55</b>	<b>0,36</b>	<b>F_0,5</b>	<b>0,55</b>	<b>0,36</b>
F0,6 par_0,6	<b>0,57</b>	<b>0,39</b>	F0,5 par_0,6	<b>0,57</b>	<b>0,39</b>
F0,6 par_0,8	<b>0,62</b>	<b>0,47</b>	F0,5 par_0,8	<b>0,62</b>	<b>0,47</b>
F0,4 tec_0,2	<b>0,54</b>	<b>0,36</b>	F0,2 tec_0,2	<b>0,56</b>	<b>0,38</b>
F0,4 tec_0,4	<b>0,55</b>	<b>0,36</b>	F0,2 tec_0,4	<b>0,56</b>	<b>0,38</b>
F0,4 tec_0,5	<b>0,55</b>	<b>0,36</b>	F0,2 tec_0,5	<b>0,56</b>	<b>0,38</b>
F0,4 tec_0,6	<b>0,55</b>	<b>0,36</b>	F0,2 tec_0,6	<b>0,56</b>	<b>0,39</b>
<b>F_0,4</b>	<b>0,55</b>	<b>0,37</b>	<b>F_0,2</b>	<b>0,57</b>	<b>0,39</b>
F0,4 sue_0,4	<b>0,56</b>	<b>0,38</b>	F0,2 sue_0,4	<b>0,58</b>	<b>0,40</b>
F0,4 sue_0,5	<b>0,57</b>	<b>0,38</b>	F0,2 sue_0,5	<b>0,58</b>	<b>0,41</b>
F0,4 sue_0,6	<b>0,57</b>	<b>0,39</b>	F0,2 sue_0,6	<b>0,58</b>	<b>0,41</b>
F0,4 sue_0,8	<b>0,58</b>	<b>0,40</b>	F0,2 sue_0,8	<b>0,59</b>	<b>0,42</b>
F0,4 par_0,2	<b>0,50</b>	<b>0,30</b>	F0,2 par_0,2	<b>0,52</b>	<b>0,32</b>
F0,4 par_0,4	<b>0,53</b>	<b>0,34</b>	F0,2 par_0,4	<b>0,55</b>	<b>0,36</b>
<b>F_0,4</b>	<b>0,55</b>	<b>0,37</b>	<b>F_0,2</b>	<b>0,57</b>	<b>0,39</b>
F0,4 par_0,6	<b>0,57</b>	<b>0,40</b>	F0,2 par_0,6	<b>0,59</b>	<b>0,42</b>
F0,4 par_0,8	<b>0,62</b>	<b>0,47</b>	F0,2 par_0,8	<b>0,63</b>	<b>0,49</b>

Respecto a la influencia del coeficiente de forma, al mantener la orientación y la posición relativa del hueco, el campo luminoso en todos los casos presenta aproximadamente las mismas características. La variación del coeficiente de forma se deja ver en la leve deformación de las curvas isolux, que tienden a convertirse en curvas elípticas

#### 5.2.2.4 REFLEXIÓN + POSICIÓN RELATIVA

En esta serie de variaciones se estudia la influencia que tiene en la posición relativa del hueco, el coeficiente de reflexión de los paramentos.

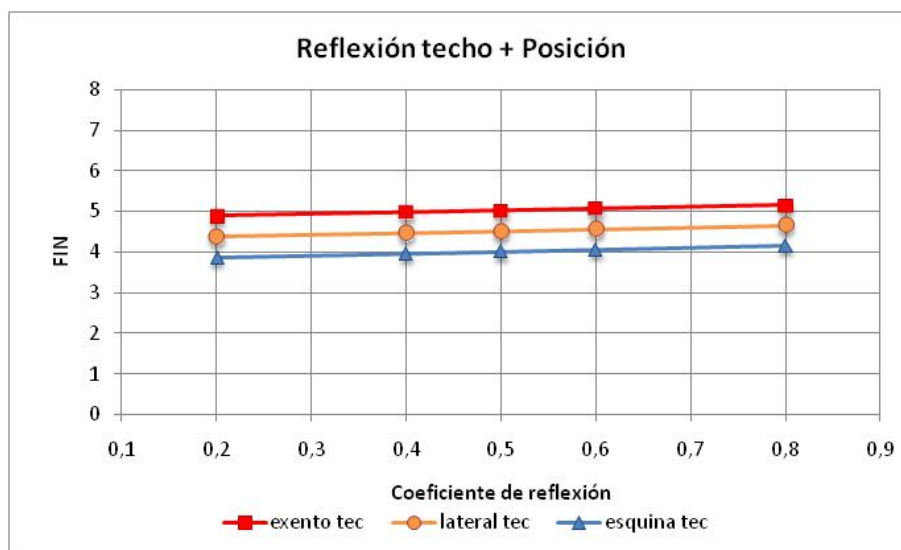


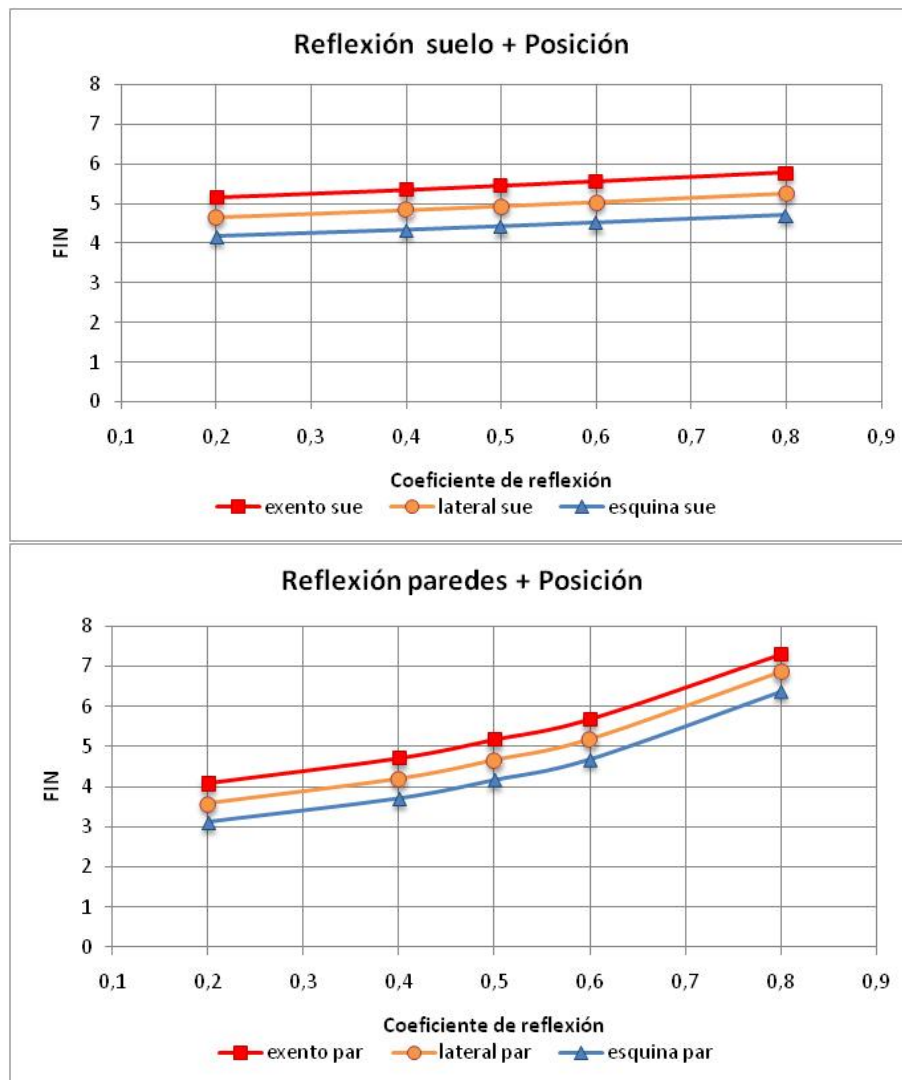
Para realizar esta variación se toma el modelo creado para estudiar la posición relativa del hueco en el paramento y se modifican los coeficientes de reflexión de los paramentos, dando los siguientes resultados:

Nombre	Datos obtenidos con Lumen Micro 2000							
	E ext	E int (med)	FIN	FIN*	E int (máx)	FINmx	E int (mín)	FINmn
tec_0,2	18845	839,7	<b>4,46</b>	<b>4,90</b>	1299,2	<b>6,89</b>	451,3	<b>2,39</b>
tec_0,4	18845	853,5	<b>4,53</b>	<b>4,98</b>	1314,5	<b>6,98</b>	461,6	<b>2,45</b>
tec_0,5	18845	861	<b>4,57</b>	<b>5,03</b>	1322,9	<b>7,02</b>	467,2	<b>2,48</b>
tec_0,6	18845	868,7	<b>4,61</b>	<b>5,07</b>	1331,4	<b>7,07</b>	472,9	<b>2,51</b>
<b>referencia</b>	18845	884,4	<b>4,69</b>	<b>5,16</b>	1348,9	<b>7,16</b>	484,5	<b>2,57</b>
sue_0,4	18845	915,8	<b>4,86</b>	<b>5,35</b>	1378,2	<b>7,31</b>	510,1	<b>2,71</b>
sue_0,5	18845	933,3	<b>4,95</b>	<b>5,45</b>	1394,6	<b>7,40</b>	524,4	<b>2,78</b>
sue_0,6	18845	951,5	<b>5,05</b>	<b>5,55</b>	1411,6	<b>7,49</b>	539,2	<b>2,86</b>
sue_0,8	18845	988,8	<b>5,25</b>	<b>5,77</b>	1446,5	<b>7,68</b>	569,6	<b>3,02</b>
par_0,2	18845	697,5	<b>3,70</b>	<b>4,07</b>	1180,3	<b>6,26</b>	347,2	<b>1,84</b>
par_0,4	18845	805	<b>4,27</b>	<b>4,70</b>	1277,6	<b>6,78</b>	424,8	<b>2,25</b>
<b>referencia</b>	18845	884,4	<b>4,69</b>	<b>5,16</b>	1348,9	<b>7,16</b>	484,5	<b>2,57</b>

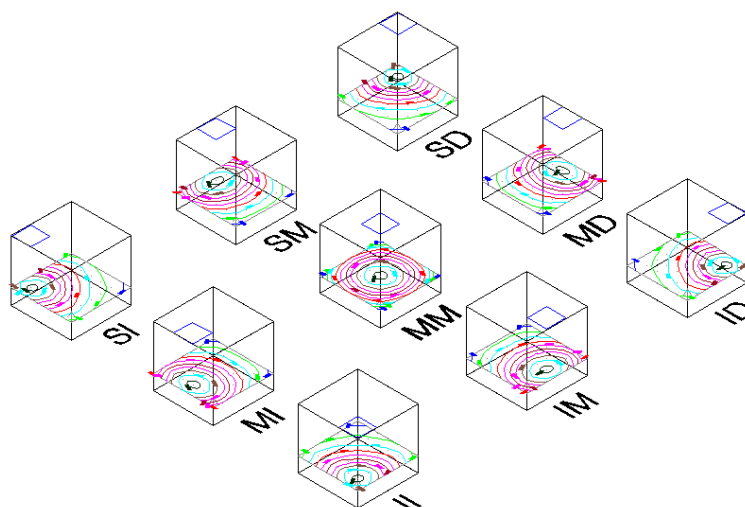
par_0,6	18845	972,6	<b>5,16</b>	<b>5,68</b>	1427,5	<b>7,57</b>	552,4	<b>2,93</b>
par_0,8	18845	1251	<b>6,64</b>	<b>7,30</b>	1673	<b>8,88</b>	773	<b>4,10</b>
tec_0,2 L	18845	749,1	<b>3,98</b>	<b>4,37</b>	1355,8	<b>7,19</b>	276,1	<b>1,47</b>
tec_0,4 L	18845	764,2	<b>4,06</b>	<b>4,46</b>	1371,5	<b>7,28</b>	287,5	<b>1,53</b>
tec_0,5 L	18845	772,4	<b>4,10</b>	<b>4,51</b>	1380,2	<b>7,32</b>	293,7	<b>1,56</b>
tec_0,6 L	18845	780,9	<b>4,14</b>	<b>4,56</b>	1389	<b>7,37</b>	300,1	<b>1,59</b>
<b>LATERAL</b>	18845	798,1	<b>4,24</b>	<b>4,66</b>	1407	<b>7,47</b>	313	<b>1,66</b>
sue_0,4 L	18845	828	<b>4,39</b>	<b>4,83</b>	1437,8	<b>7,63</b>	337,4	<b>1,79</b>
sue_0,5 L	18845	844,7	<b>4,48</b>	<b>4,93</b>	1454,9	<b>7,72</b>	351	<b>1,86</b>
sue_0,6 L	18845	861,9	<b>4,57</b>	<b>5,03</b>	1472,7	<b>7,81</b>	365,1	<b>1,94</b>
sue_0,8 L	18845	897,5	<b>4,76</b>	<b>5,24</b>	1509,4	<b>8,01</b>	394,2	<b>2,09</b>
par_0,2 L	18845	612,8	<b>3,25</b>	<b>3,58</b>	1198,6	<b>6,36</b>	179,9	<b>0,95</b>
par_0,4 L	18845	718,4	<b>3,81</b>	<b>4,19</b>	1319,1	<b>7,00</b>	253,8	<b>1,35</b>
<b>LATERAL</b>	18845	798,1	<b>4,24</b>	<b>4,66</b>	1407	<b>7,47</b>	313	<b>1,66</b>
par_0,6 L	18845	887,9	<b>4,71</b>	<b>5,18</b>	1504	<b>7,98</b>	381,8	<b>2,03</b>
par_0,8 L	18845	1176	<b>6,24</b>	<b>6,86</b>	1809	<b>9,60</b>	610	<b>3,24</b>
tec_0,2 E	18845	663,1	<b>3,52</b>	<b>3,87</b>	1409,9	<b>7,48</b>	204,5	<b>1,09</b>
tec_0,4 E	18845	678,7	<b>3,60</b>	<b>3,96</b>	1425,1	<b>7,56</b>	216,2	<b>1,15</b>
tec_0,5 E	18845	687,3	<b>3,65</b>	<b>4,01</b>	1433,5	<b>7,61</b>	222,7	<b>1,18</b>
tec_0,6 E	18845	696	<b>3,69</b>	<b>4,06</b>	1442,1	<b>7,65</b>	229,3	<b>1,22</b>
<b>ESQUINA</b>	18845	713,8	<b>3,79</b>	<b>4,17</b>	1459,5	<b>7,74</b>	242,6	<b>1,29</b>
sue_0,4 E	18845	741,6	<b>3,94</b>	<b>4,33</b>	1490,5	<b>7,91</b>	265,4	<b>1,41</b>
sue_0,5 E	18845	757,1	<b>4,02</b>	<b>4,42</b>	1507,8	<b>8,00</b>	278,1	<b>1,48</b>
sue_0,6 E	18845	773,2	<b>4,10</b>	<b>4,51</b>	1525,7	<b>8,10</b>	291,2	<b>1,55</b>
sue_0,8 E	18845	806,3	<b>4,28</b>	<b>4,71</b>	1562,6	<b>8,29</b>	318,2	<b>1,69</b>
par_0,2 E	18845	534,3	<b>2,84</b>	<b>3,12</b>	1214,4	<b>6,44</b>	113,7	<b>0,60</b>
par_0,4 E	18845	635,6	<b>3,37</b>	<b>3,71</b>	1356,3	<b>7,20</b>	184,3	<b>0,98</b>
<b>ESQUINA</b>	18845	713,8	<b>3,79</b>	<b>4,17</b>	1459,5	<b>7,74</b>	242,6	<b>1,29</b>
par_0,6 E	18845	802,8	<b>4,26</b>	<b>4,69</b>	1573,4	<b>8,35</b>	311,3	<b>1,65</b>
par_0,8 E	18845	1093	<b>5,80</b>	<b>6,38</b>	1932	<b>10,25</b>	543	<b>2,88</b>

Si presentamos el Factor de Iluminación Natural en función del coeficiente de reflexión, observamos que las curvas son paralelas según cada grupo:





Por lo que podemos decir que se mantiene la relación observada para la posición relativa del hueco cenital en el paramento y la evolución del factor de iluminación natural al variar el coeficiente de reflexión de techo, suelo y paredes.



Campo luminoso según la posición relativa del hueco (curvas isolux)



La variación de los coeficientes de reflexión sólo afecta al comportamiento del campo luminoso de forma cuantitativa, manteniendo las mismas características. Por tanto, el campo luminoso responde a la variación de la posición relativa del hueco en el paramento.

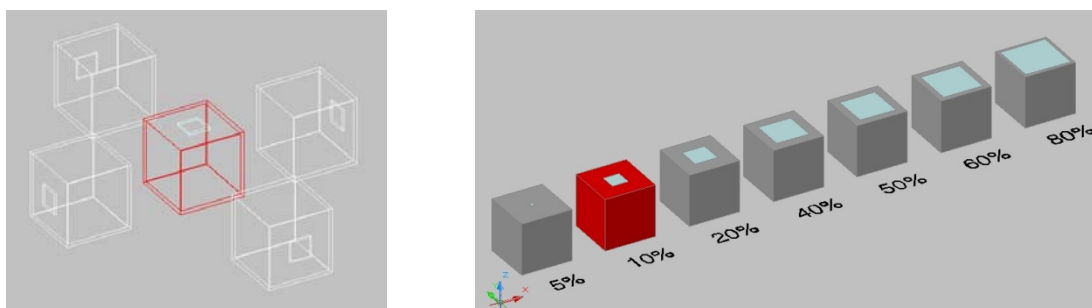
Nombre	Uniformidad		Nombre	Uniformidad		Nombre	Uniformidad	
	U med	U extr		U med	U extr		U med	U extr
tec_0,2	<b>0,54</b>	<b>0,35</b>	tec_0,2 L	<b>0,37</b>	<b>0,20</b>	tec_0,2 E	<b>0,31</b>	<b>0,15</b>
tec_0,4	<b>0,54</b>	<b>0,35</b>	tec_0,4 L	<b>0,38</b>	<b>0,21</b>	tec_0,4 E	<b>0,32</b>	<b>0,15</b>
tec_0,5	<b>0,54</b>	<b>0,35</b>	tec_0,5 L	<b>0,38</b>	<b>0,21</b>	tec_0,5 E	<b>0,32</b>	<b>0,16</b>
tec_0,6	<b>0,54</b>	<b>0,36</b>	tec_0,6 L	<b>0,38</b>	<b>0,22</b>	tec_0,6 E	<b>0,33</b>	<b>0,16</b>
<b>referencia</b>	<b>0,55</b>	<b>0,36</b>	<b>LATERAL</b>	<b>0,39</b>	<b>0,22</b>	<b>ESQUINA</b>	<b>0,34</b>	<b>0,17</b>
sue_0,4	<b>0,56</b>	<b>0,37</b>	sue_0,4 L	<b>0,41</b>	<b>0,23</b>	sue_0,4 E	<b>0,36</b>	<b>0,18</b>
sue_0,5	<b>0,56</b>	<b>0,38</b>	sue_0,5 L	<b>0,42</b>	<b>0,24</b>	sue_0,5 E	<b>0,37</b>	<b>0,18</b>
sue_0,6	<b>0,57</b>	<b>0,38</b>	sue_0,6 L	<b>0,42</b>	<b>0,25</b>	sue_0,6 E	<b>0,38</b>	<b>0,19</b>
sue_0,8	<b>0,58</b>	<b>0,39</b>	sue_0,8 L	<b>0,44</b>	<b>0,26</b>	sue_0,8 E	<b>0,39</b>	<b>0,20</b>
par_0,2	<b>0,50</b>	<b>0,29</b>	par_0,2 L	<b>0,29</b>	<b>0,15</b>	par_0,2 E	<b>0,21</b>	<b>0,09</b>
par_0,4	<b>0,53</b>	<b>0,33</b>	par_0,4 L	<b>0,35</b>	<b>0,19</b>	par_0,4 E	<b>0,29</b>	<b>0,14</b>
<b>referencia</b>	<b>0,55</b>	<b>0,36</b>	<b>LATERAL</b>	<b>0,39</b>	<b>0,22</b>	<b>ESQUINA</b>	<b>0,34</b>	<b>0,17</b>
par_0,6	<b>0,57</b>	<b>0,39</b>	par_0,6 L	<b>0,43</b>	<b>0,25</b>	par_0,6 E	<b>0,39</b>	<b>0,20</b>
par_0,8	<b>0,62</b>	<b>0,46</b>	par_0,8 L	<b>0,52</b>	<b>0,34</b>	par_0,8 E	<b>0,50</b>	<b>0,28</b>

Respecto al campo luminoso se distinguen tres situaciones distintas: hueco cenital centrado, hueco cenital lateral y hueco cenital en esquina. El coeficiente de uniformidad medio se reduce al cambiar la posición a un lateral y a una esquina, luego el cambio de posición relativa afecta a la uniformidad del campo luminoso.

La relación entre el nivel mínimo y máximo en el hueco cenital también se reduce cuando se cambia la posición a un lateral y a una esquina. La posición relativa afecta a la uniformidad y al rango de valores de iluminación en el plano de trabajo.

### 5.2.2.5 ORIENTACIÓN + SUPERFICIE RELATIVA

En esta serie de variaciones se estudia la influencia del tamaño relativo del hueco cuando se sitúa en paramentos con distintas orientaciones.

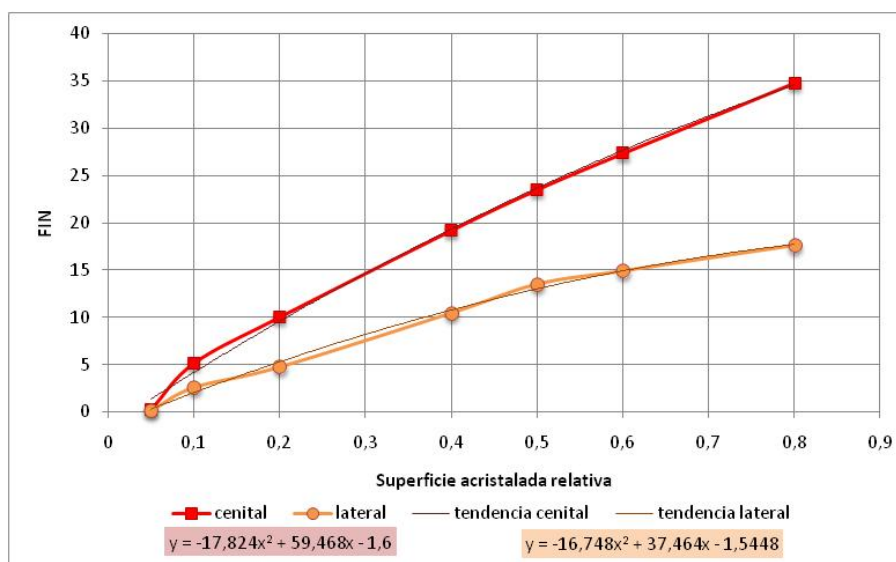


En el programa introducimos el modelo espacial utilizado para estudiar la superficie relativa del hueco y se crea una copia de las distintas opciones con el hueco ubicado en la pared norte, dando los siguientes resultados:

Nombre	Datos obtenidos con Lumen Micro 2000							
	E ext	E int (med)	FIN	FIN*	E int (máx)	FINmx	E int (mín)	FINmn
S_05	18845	44,15	<b>0,23</b>	<b>0,26</b>	69,84	<b>0,37</b>	23,59	<b>0,13</b>
<b>referencia</b>	<b>18845</b>	<b>884,4</b>	<b>4,69</b>	<b>5,16</b>	<b>1348,9</b>	<b>7,16</b>	<b>484,5</b>	<b>2,57</b>
S_20	18845	1720	<b>9,13</b>	<b>10,04</b>	2544	<b>13,50</b>	963	<b>5,11</b>
S_40	18845	3289	<b>17,45</b>	<b>19,20</b>	4625	<b>24,54</b>	1925	<b>10,21</b>
S_50	18845	4027	<b>21,37</b>	<b>23,51</b>	5528	<b>29,33</b>	2405	<b>12,76</b>
S_60	18845	4687	<b>24,87</b>	<b>27,36</b>	6335	<b>33,62</b>	2850	<b>15,12</b>
S_80	18845	5962	<b>31,64</b>	<b>34,80</b>	7774	<b>41,25</b>	3769	<b>20,00</b>

S_05 N	18845	23,14	<b>0,12</b>	<b>0,14</b>	148,62	<b>0,79</b>	3,55	<b>0,02</b>
<b>norte</b>	<b>18845</b>	<b>444,6</b>	<b>2,36</b>	<b>2,60</b>	<b>2645</b>	<b>14,04</b>	<b>71,6</b>	<b>0,38</b>
S_20 N	18845	815	<b>4,32</b>	<b>4,76</b>	3958,3	<b>21,00</b>	142,5	<b>0,76</b>
S_40 N	18845	1792	<b>9,51</b>	<b>10,46</b>	6555	<b>34,78</b>	291	<b>1,54</b>
S_50 N	18845	2314	<b>12,28</b>	<b>13,51</b>	6682	<b>35,46</b>	372	<b>1,97</b>
S_60 N	18845	2555	<b>13,56</b>	<b>14,91</b>	6749	<b>35,81</b>	451	<b>2,39</b>
S_80 N	18845	3016	<b>16,00</b>	<b>17,60</b>	6941	<b>36,83</b>	680	<b>3,61</b>

Si presentamos gráficamente el Factor de Iluminación Natural en función de la superficie relativa del hueco:



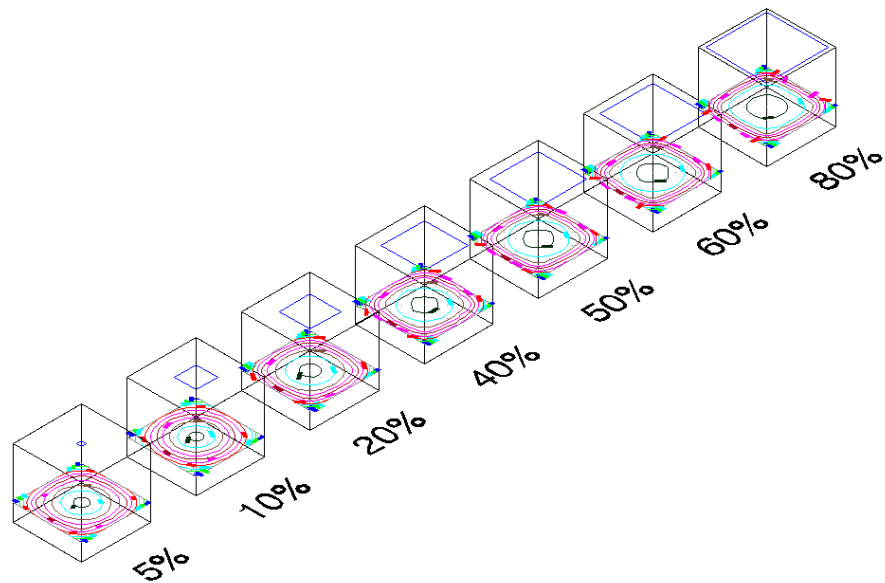
Tal como podemos observar, al combinar orientación y superficie relativa se suman los comportamientos de ambas variables ya que, por un lado, los valores para el hueco cenital son aproximadamente el doble de los valores para el hueco con la orientación lateral y, por otro, la evolución del Factor de Iluminación Natural cuando aumenta la superficie relativa es proporcional, como se pudo ver en el estudio sobre la influencia de la superficie relativa.

Nombre	Uniformidad		Nombre	Uniformidad	
	U med	U extr		U med	U extr
S_05	<b>0,53</b>	<b>0,34</b>	S_05 N	<b>0,15</b>	<b>0,02</b>
<b>referencia</b>	<b>0,55</b>	<b>0,36</b>	<b>norte</b>	<b>0,16</b>	<b>0,03</b>
S_20	<b>0,56</b>	<b>0,38</b>	S_20 N	<b>0,17</b>	<b>0,04</b>
S_40	<b>0,59</b>	<b>0,42</b>	S_40 N	<b>0,16</b>	<b>0,04</b>
S_50	<b>0,60</b>	<b>0,44</b>	S_50 N	<b>0,16</b>	<b>0,06</b>
S_60	<b>0,61</b>	<b>0,45</b>	S_60 N	<b>0,18</b>	<b>0,07</b>
S_80	<b>0,63</b>	<b>0,48</b>	S_80 N	<b>0,23</b>	<b>0,10</b>

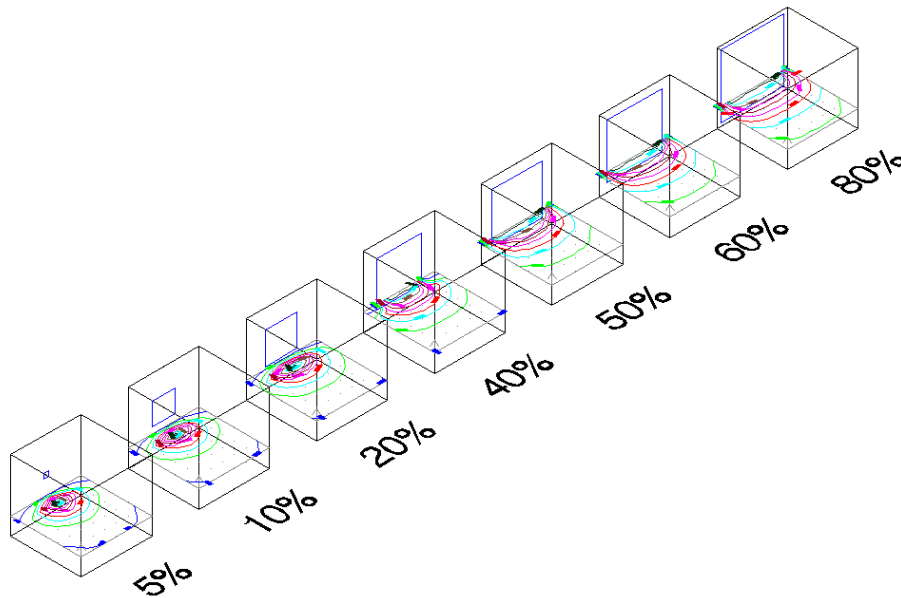
En cuanto a la distribución de luz natural en el plano de trabajo se distinguen dos casos distintos: el campo proporcionado por el hueco cenital, estudiado anteriormente, y el campo proporcionado por el hueco lateral.

En el primer caso, el campo luminoso presenta las mismas características que el correspondiente al modelo de referencia; la diferencia reside en los niveles alcanzados. Al mantener la orientación y la posición relativa, las características del campo luminoso son similares. Al aumentar la superficie relativa aumenta el coeficiente de uniformidad medio y el coeficiente de uniformidad extremo.

En el segundo caso, el coeficiente de uniformidad medio y el coeficiente de uniformidad extremo indican una fuerte bajada del nivel de iluminación, por lo tanto un campo luminoso muy poco uniforme, con un nivel de iluminación máximo próximo a la ventana y una fuerte caída hacia la pared opuesta. A medida que aumenta la superficie relativa el campo se hace más uniforme ya que la penetración de la luz es mayor.



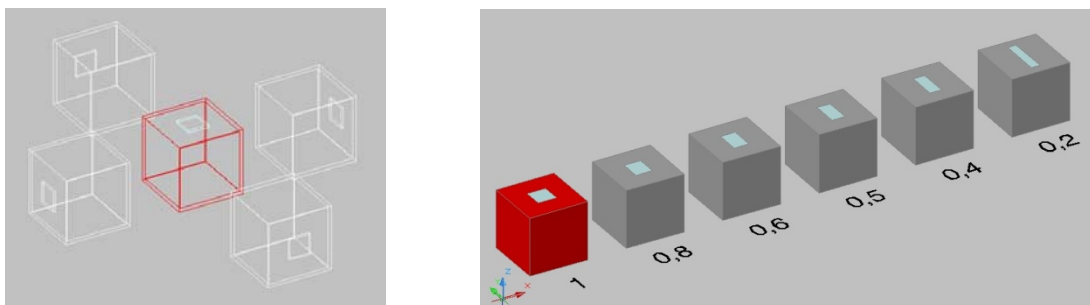
Campo luminoso con hueco cenital según superficie relativa (curvas isolux)



Campo luminoso en hueco lateral según superficie relativa (curvas isolux)

#### 5.2.2.6 ORIENTACIÓN + COEFICIENTE DE FORMA

En esta serie se intenta relacionar la forma del hueco con la orientación de la pared en la que se inserta, manteniendo constantes las demás variables, incluida la superficie relativa.

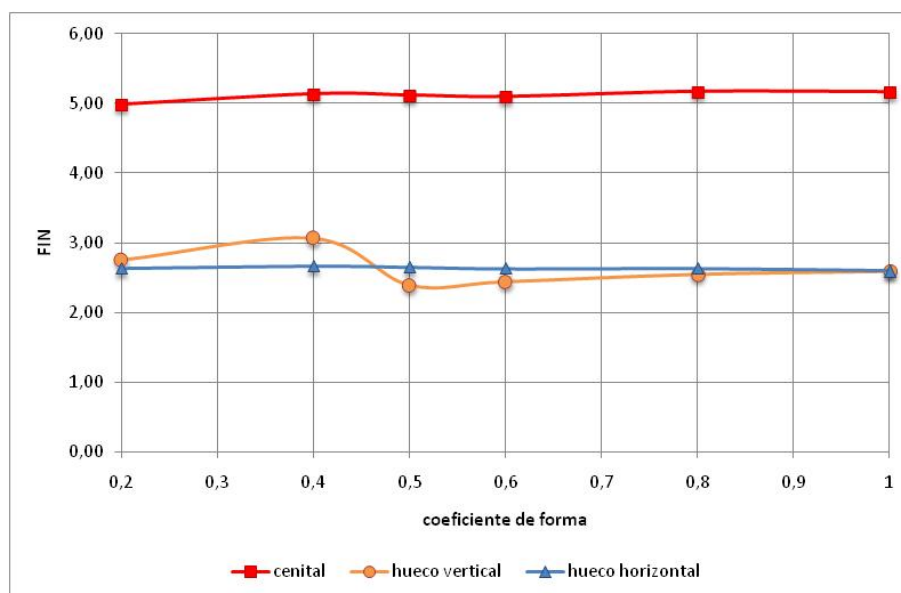


En el programa introducimos el modelo espacial utilizado para estudiar el coeficiente de forma del hueco y se crea una copia de las distintas opciones con el hueco ubicado en la pared norte. Como al variar el coeficiente de forma el hueco adopta una forma alargada verticalmente,

se realizó el mismo estudio en la pared norte con la relación inversa del coeficiente de forma para estudiar la influencia del hueco estirado horizontalmente, dando los siguientes resultados:

Nombre	Datos obtenidos con Lumen Micro 2000							
	E ext	E int (med)	FIN	FIN*	E int (máx)	FINmx	E int (mín)	FINmn
<b>referencia</b>	18845	884,4	<b>4,69</b>	<b>5,16</b>	1348,9	<b>7,16</b>	484,5	<b>2,57</b>
F_0,8	18845	885,4	<b>4,70</b>	<b>5,17</b>	1347,3	<b>7,15</b>	485,6	<b>2,58</b>
F_0,6	18845	873,1	<b>4,63</b>	<b>5,10</b>	1324,90	<b>7,03</b>	479,7	<b>2,55</b>
F_0,5	18845	876,5	<b>4,65</b>	<b>5,12</b>	1327,2	<b>7,04</b>	482,1	<b>2,56</b>
F_0,4	18845	879,5	<b>4,67</b>	<b>5,13</b>	1324,9	<b>7,03</b>	486,6	<b>2,58</b>
F_0,2	18845	854,4	<b>4,53</b>	<b>4,99</b>	1245,1	<b>6,61</b>	484,6	<b>2,57</b>
<b>norte</b>	<b>18845</b>	<b>444,6</b>	<b>2,36</b>	<b>2,60</b>	<b>2645</b>	<b>14,04</b>	<b>71,6</b>	<b>0,38</b>
F_0,8 lv	18845	437,3	<b>2,32</b>	<b>2,55</b>	2701	<b>14,33</b>	71,5	<b>0,38</b>
F_0,6 lv	18845	419,3	<b>2,22</b>	<b>2,45</b>	2671,5	<b>14,18</b>	70,5	<b>0,37</b>
F_0,5 lv	18845	411,2	<b>2,18</b>	<b>2,40</b>	2615,9	<b>13,88</b>	70,8	<b>0,38</b>
F_0,4 lv	18845	524,8	<b>2,78</b>	<b>3,06</b>	6353,7	<b>33,72</b>	71,3	<b>0,38</b>
F_0,2 lv	18845	472,2	<b>2,51</b>	<b>2,76</b>	6338,2	<b>33,63</b>	70	<b>0,37</b>
<b>norte</b>	<b>18845</b>	<b>444,6</b>	<b>2,36</b>	<b>2,60</b>	<b>2645</b>	<b>14,04</b>	<b>71,6</b>	<b>0,38</b>
F_0,8 lh	18845	450,5	<b>2,39</b>	<b>2,63</b>	2549,1	<b>13,53</b>	72	<b>0,38</b>
F_0,6 lh	18845	449,7	<b>2,39</b>	<b>2,62</b>	2365,7	<b>12,55</b>	71,6	<b>0,38</b>
F_0,5 lh	18845	454,2	<b>2,41</b>	<b>2,65</b>	2265,8	<b>12,02</b>	72,4	<b>0,38</b>
F_0,4 lh	18845	457,4	<b>2,43</b>	<b>2,67</b>	2136,3	<b>11,34</b>	73,6	<b>0,39</b>
F_0,2 lh	18845	451,1	<b>2,39</b>	<b>2,63</b>	1679,2	<b>8,91</b>	76,3	<b>0,40</b>

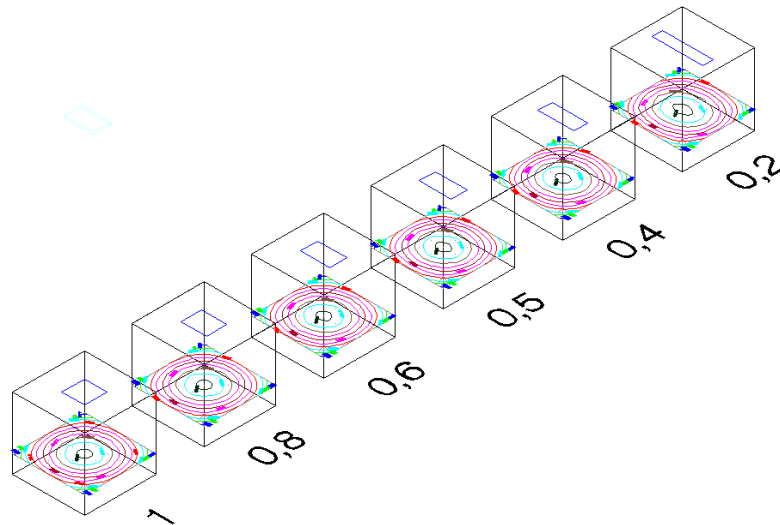
Si representamos gráficamente la relación entre el Factor de Iluminación Natural y el coeficiente de forma del hueco:



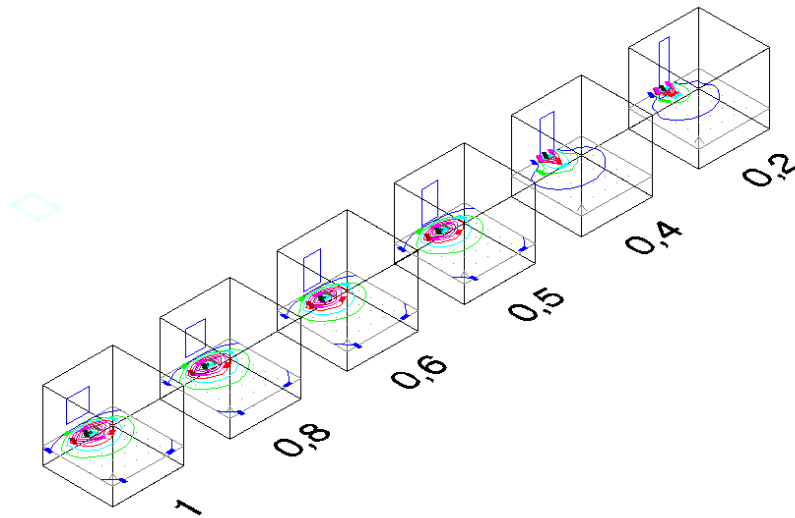
Podemos observar que el rango de valores para el hueco cenital duplica al rango de valores para ambos huecos laterales, por lo que se mantiene el comportamiento estudiado para la variación de la orientación. Sin embargo, mientras el hueco cenital y el hueco lateral horizontal siguen la misma evolución, el hueco lateral vertical presenta algunas variaciones.

Este comportamiento diferencial se debe a que, a medida que alargamos el hueco verticalmente, abarcamos mayor rango de altitud, por lo que estamos más próximos al plano de trabajo. Mientras en la ventana horizontal las variaciones del coeficiente de forma mantienen prácticamente constante la distancia al plano de trabajo, en la ventana vertical, a medida que ésta se alarga (coeficientes de forma más pequeños) se acerca más al plano de trabajo.

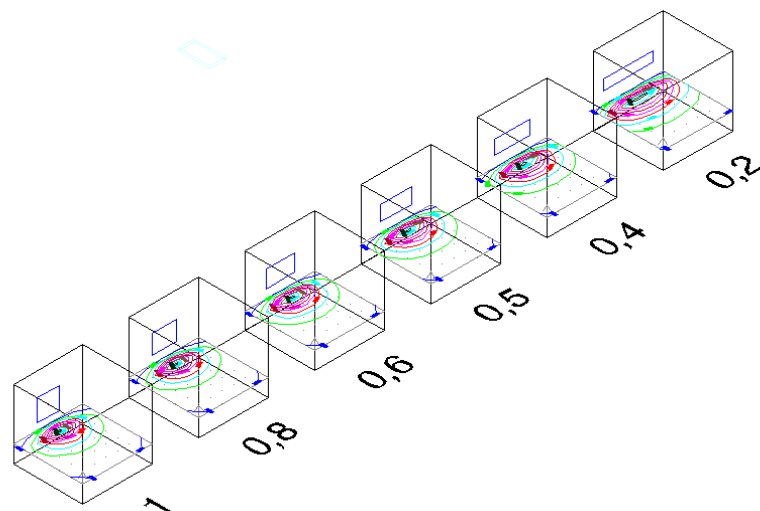
Para los casos de coeficiente de forma 0'4 y 0'2 hay superficie acristalada por debajo del plano de trabajo, por lo que, por un lado aumenta el nivel de iluminación máximo pero disminuye la superficie efectiva respecto al plano de trabajo.



Campo luminoso con hueco cenital según coeficiente de forma (curvas isolux)



Campo luminoso con hueco lateral según coeficiente de forma vertical (curvas isolux)



Campo luminoso en hueco lateral según coeficiente de forma horizontal

En cuanto a la distribución de luz natural en el plano de trabajo se distinguen dos casos distintos: el campo proporcionado por el hueco cenital y el campo proporcionado por el hueco lateral.

Nombre	Uniformidad		Nombre	Uniformidad		Nombre	Uniformidad	
	U med	U extr		U med	U extr		U med	U extr
referencia	0,55	0,36	norte	0,16	0,03	norte	0,16	0,03
F_0,8	0,55	0,36	F_0,8 lv	0,16	0,03	F_0,8 lh	0,16	0,03
F_0,6	0,55	0,36	F_0,6 lv	0,17	0,03	F_0,6 lh	0,16	0,03
F_0,5	0,55	0,36	F_0,5 lv	0,17	0,03	F_0,5 lh	0,16	0,03
F_0,4	0,55	0,37	F_0,4 lv	0,14	0,01	F_0,4 lh	0,16	0,03
F_0,2	0,57	0,39	F_0,2 lv	0,15	0,01	F_0,2 lh	0,17	0,05

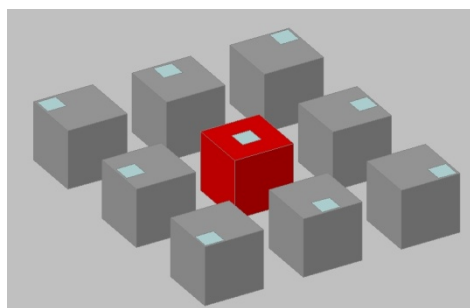
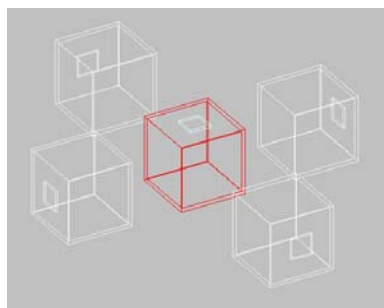
En el primer caso, al mantener la orientación y la posición relativa del hueco, el campo luminoso en todos los casos presenta aproximadamente las mismas características. La variación del coeficiente de forma se deja ver en la leve deformación de las curvas isolux, que tienden a convertirse en curvas elípticas

En el segundo caso, el campo responde al cambio de orientación. El coeficiente de uniformidad medio y el coeficiente de uniformidad extremo indican una fuerte bajada del nivel de iluminación, por lo tanto un campo luminoso muy poco uniforme, con un nivel de iluminación máximo próximo a la ventana y una fuerte caída hacia la pared opuesta.

Cuando el hueco se estira verticalmente, a medida que disminuye el coeficiente de forma disminuye el nivel de iluminación y la uniformidad del campo. Sin embargo, cuando se estira horizontalmente, a medida que disminuye el coeficiente de forma aumenta la uniformidad del campo.

#### 5.2.2.7 ORIENTACIÓN + POSICIÓN RELATIVA

En esta serie de variaciones se estudia la relación que guarda la posición relativa del hueco dentro del paramento con la orientación del mismo.

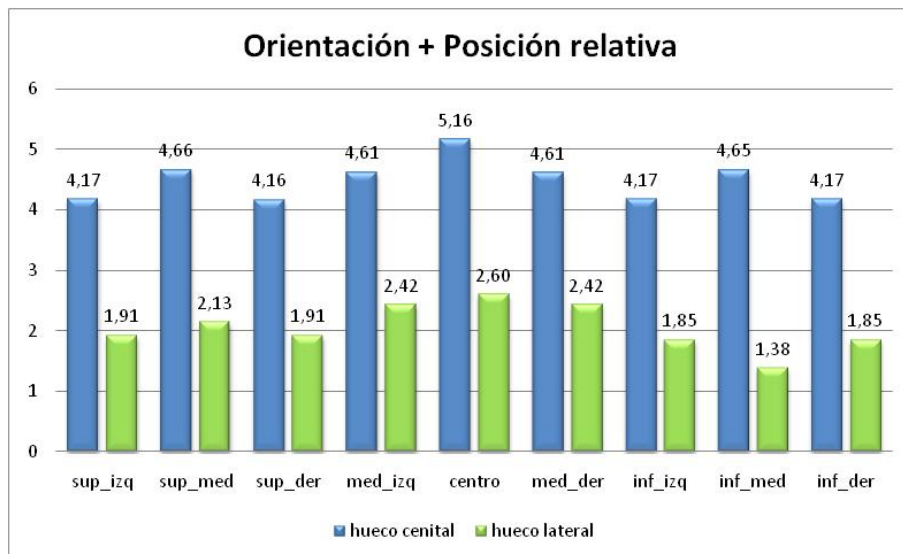


En el programa introducimos el modelo espacial utilizado para estudiar la posición relativa del hueco en el paramento y se crea una copia de las distintas opciones con el hueco ubicado en la pared norte. Aunque para el hueco cenital distinguimos tres casos, en esta combinación se estudian todos los casos para determinar las diferencias que existen cuando el plano de movimiento es vertical y, por tanto, varía la altitud del hueco respecto al plano de trabajo.

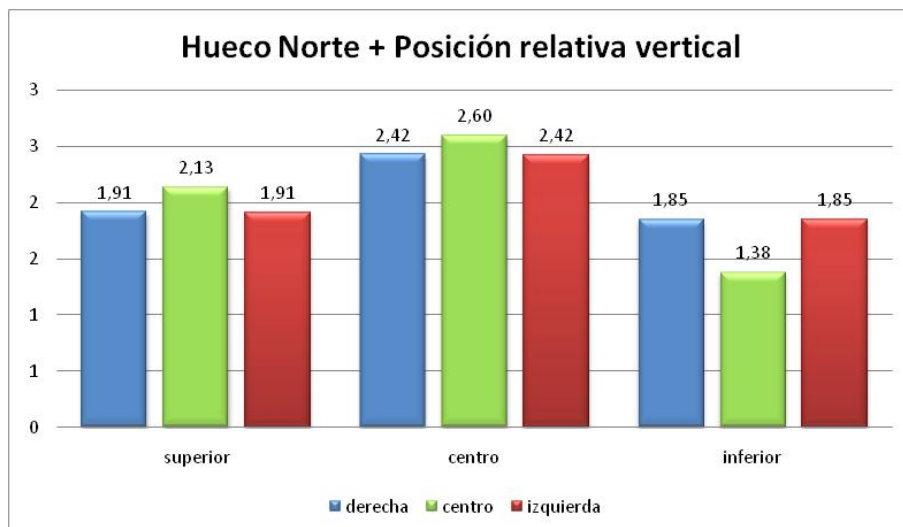
Nombre	Datos obtenidos con Lumen Micro 2000							
	E ext	E int (med)	FIN	FIN*	E int (máx)	FINmx	E int (mín)	FINmn
P_SI	18845	713,8	3,79	4,17	1459,5	7,74	242,6	1,29
P_SM	18845	798,1	4,24	4,66	1407	7,47	313	1,66
P_SD	18845	713,3	3,79	4,16	1459	7,74	242,3	1,29
P_MI	18845	790,4	4,19	4,61	1400,9	7,43	308,4	1,64
referencia	18845	884,4	4,69	5,16	1348,9	7,16	484,5	2,57
P_MD	18845	790,1	4,19	4,61	1400,6	7,43	308,2	1,64
P_II	18845	714,2	3,79	4,17	1460	7,75	242,9	1,29

P_IM	18845	797,3	<b>4,23</b>	<b>4,65</b>	1405,4	<b>7,46</b>	313,3	<b>1,66</b>
P_ID	18845	713,8	<b>3,79</b>	<b>4,17</b>	1459,5	<b>7,74</b>	242,6	<b>1,29</b>
P_SI N	18845	327,7	<b>1,74</b>	<b>1,91</b>	730,1	<b>3,87</b>	85,8	<b>0,46</b>
P_SM N	18845	365,4	<b>1,94</b>	<b>2,13</b>	697,2	<b>3,70</b>	91,4	<b>0,49</b>
P_SD N	18845	327,9	<b>1,74</b>	<b>1,91</b>	730,3	<b>3,88</b>	85,9	<b>0,46</b>
P_MI N	18845	414,8	<b>2,20</b>	<b>2,42</b>	2800,7	<b>14,86</b>	69,6	<b>0,37</b>
<b>norte</b>	<b>18845</b>	<b>444,6</b>	<b>2,36</b>	<b>2,60</b>	<b>2645</b>	<b>14,04</b>	<b>71,6</b>	<b>0,38</b>
P_MD N	18845	414,9	<b>2,20</b>	<b>2,42</b>	2800,8	<b>14,86</b>	69,7	<b>0,37</b>
P_II N	18845	316,1	<b>1,68</b>	<b>1,85</b>	6422	<b>34,08</b>	53,8	<b>0,29</b>
P_IM N	18845	236	<b>1,25</b>	<b>1,38</b>	6312,9	<b>33,50</b>	52,7	<b>0,28</b>
P_ID N	18845	316,2	<b>1,68</b>	<b>1,85</b>	6422,1	<b>34,08</b>	53,9	<b>0,29</b>

Si representamos el factor de iluminación natural en función de la posición relativa del hueco en el paramento cenital (techo) y en el paramento lateral (pared norte)



Podemos observar que, al ubicar el hueco en una pared vertical, el comportamiento al cambiar la posición relativa es distinto al comportamiento del hueco cenital de forma general. Sin embargo, si estudiamos el comportamiento según la altitud del hueco:



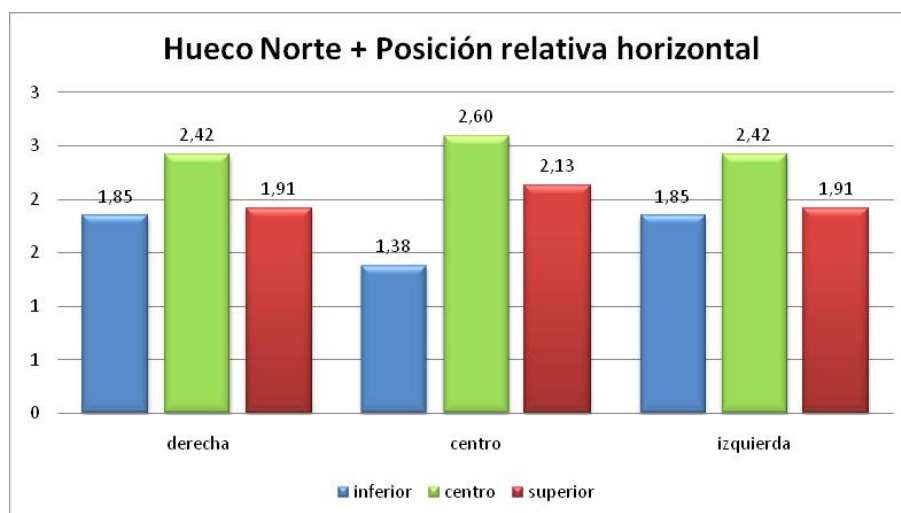
El comportamiento por grupos de altitud: hueco en posición superior, central e inferior, es similar al comportamiento del hueco cenital, en cuyo caso la altitud es constante para todas las posiciones relativas, por lo que parece que la clave de la posición relativa del hueco es la altitud.

Los valores de cada grupo parecen responder al contexto en el que se insertan. El hueco centrado, tal como hemos visto en casos anteriores, ofrece unos valores de factor de iluminación natural de aproximadamente la mitad de los valores del hueco cenital, correspondiente al cambio de orientación y, además, tiene el mismo comportamiento que el hueco cenital para la posición relativa, ya que las tres opciones tienen la misma altitud.

En las tres opciones del hueco superior, derecha, centrado o izquierda, parece que intervienen dos factores: la altitud y el coeficiente de reflexión. Los valores de factor de iluminación natural son menores que para el hueco centrado, sin embargo los huecos tienen mayor altitud, luego la luminancia del cielo es mayor, pero como el hueco es adyacente a una superficie perpendicular entra en acción el coeficiente de reflexión, en este caso del techo, disminuyendo el nivel de iluminación medio.

Algo similar sucede cuando estudiamos las tres opciones del hueco en posición inferior. A la reducción de cantidad de luz que entra por el hueco debido a su altitud se le suma el efecto de la reflexión con los paramentos. El hueco en posición central inferior ofrece un factor de iluminación natural inferior porque el elemento de reflexión principal es el suelo, mientras que ambos huecos laterales cuentan con las paredes (con mayor coeficiente de reflexión). Por estas razones el comportamiento es inverso al estudiado para hueco cenital.

Si estudiamos la variación horizontal:

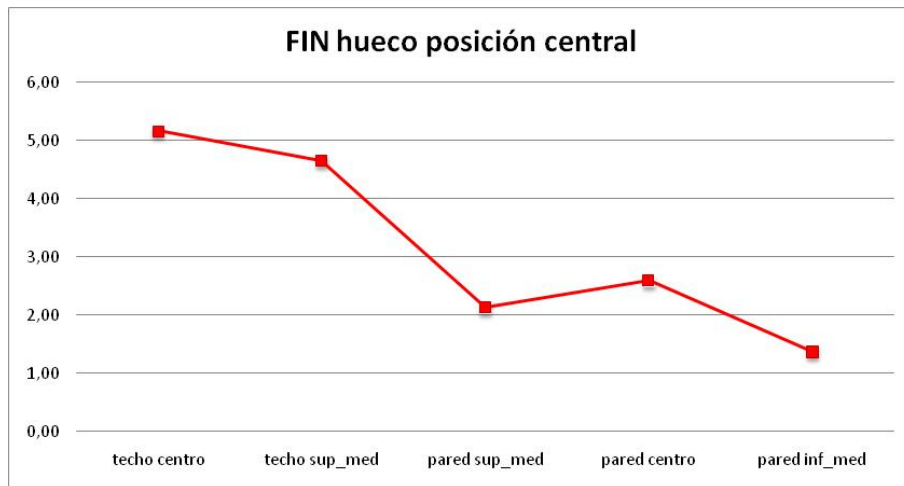


Los huecos situados adyacentes a una pared, derecha o izquierda, tienen el mismo comportamiento y los mismos valores; hay un comportamiento simétrico respecto a un eje vertical centrado en la pared. En todos los casos parece que la diferencia de los valores responde a la altitud de la posición y al elemento principal de reflexión en sentido vertical.

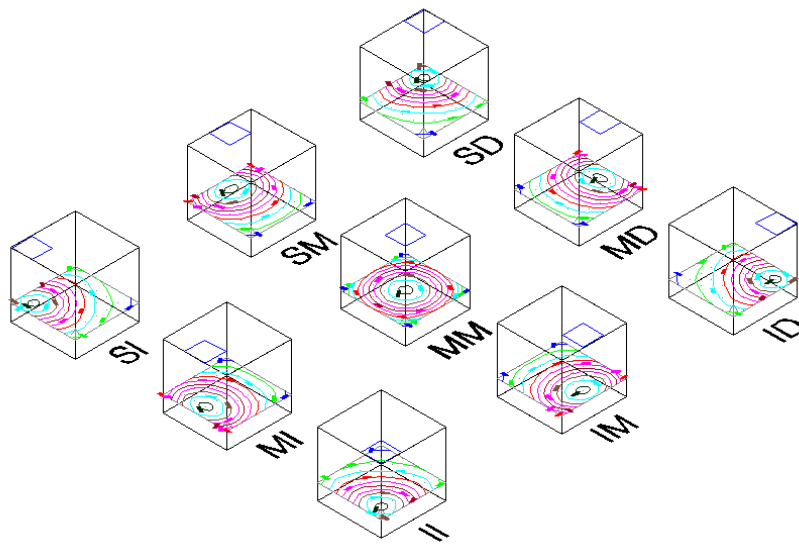
Los máximos valores corresponden a huecos centrados, sin elementos de reflexión superior o inferior. El siguiente valor corresponde a los huecos superiores, cuyo elemento de reflexión principal se sitúa sobre el hueco y tiene un coeficiente de reflexión elevado ( $r=0'8$ ). Los valores mínimos corresponden a huecos inferiores, cuyo elemento de reflexión principal se sitúa bajo el hueco y tiene un coeficiente de reflexión muy pequeño ( $r=0'2$ )

Como hemos observado, parece que la clave de la posición relativa reside en la altitud del hueco, por lo que si comparamos los resultados obtenidos para el hueco centrado desde el cenit al hueco en la posición central inferior de la pared vertical:

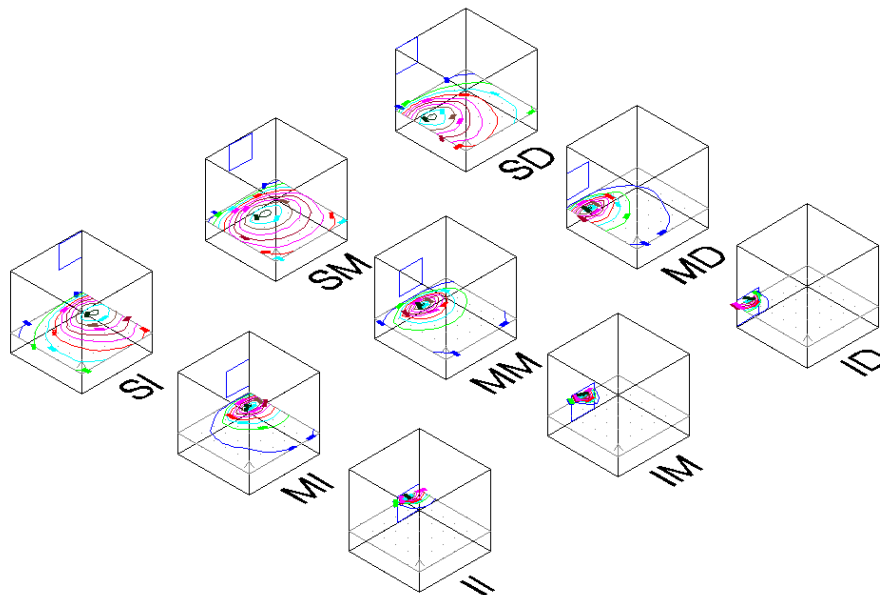




Podemos ver cómo, efectivamente, el Factor de Iluminación Natural disminuye con la altitud y con la incidencia de superficies más o menos reflectoras.



Campo luminoso con hueco cenital según su posición relativa (curvas isolux)



Campo luminoso con hueco lateral según su posición relativa (curvas isolux)

En cuanto a la distribución de luz natural en el plano de trabajo se distinguen dos casos distintos: el campo proporcionado por el hueco cenital y el campo proporcionado por el hueco lateral

Nombre	Uniformidad		Nombre	Uniformidad	
	U med	U extr		U med	U extr
P_SI	<b>0,34</b>	<b>0,17</b>	P_SI N	<b>0,26</b>	<b>0,12</b>
P_SM	<b>0,39</b>	<b>0,22</b>	P_SM N	<b>0,25</b>	<b>0,13</b>
P_SD	<b>0,34</b>	<b>0,17</b>	P_SD N	<b>0,26</b>	<b>0,12</b>
P_MI	<b>0,39</b>	<b>0,22</b>	P_MI N	<b>0,17</b>	<b>0,02</b>
<b>referencia</b>	<b>0,55</b>	<b>0,36</b>	<b>norte</b>	<b>0,16</b>	<b>0,03</b>
P_MD	<b>0,39</b>	<b>0,22</b>	P_MD N	<b>0,17</b>	<b>0,02</b>
P_II	<b>0,34</b>	<b>0,17</b>	P_II N	<b>0,17</b>	<b>0,01</b>
P_IM	<b>0,39</b>	<b>0,22</b>	P_IM N	<b>0,22</b>	<b>0,01</b>
P_ID	<b>0,34</b>	<b>0,17</b>	P_ID N	<b>0,17</b>	<b>0,01</b>

En el primer caso se distinguen tres situaciones distintas: hueco cenital centrado, hueco cenital lateral y hueco cenital en esquina. El coeficiente de uniformidad medio se reduce al cambiar la posición a un lateral y a una esquina, luego el cambio de posición relativa afecta a la uniformidad del campo luminoso.

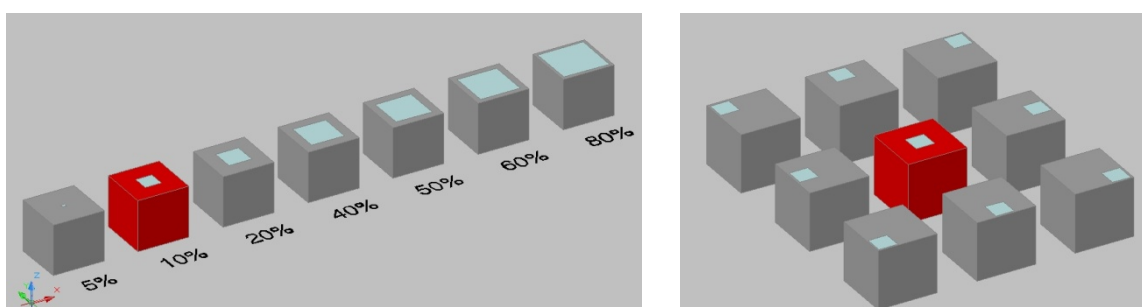
La relación entre el nivel mínimo y máximo en el hueco cenital también se reduce cuando se cambia la posición a un lateral y a una esquina. La posición relativa afecta a la uniformidad y al rango de valores de iluminación en el plano de trabajo.

En el segundo caso, el campo responde al cambio de orientación. El coeficiente de uniformidad medio y el coeficiente de uniformidad extremo indican una fuerte bajada del nivel de iluminación, por lo tanto un campo luminoso muy poco uniforme, con un nivel de iluminación máximo próximo a la ventana y una fuerte caída hacia la pared opuesta.

Aunque el comportamiento responde a cambiar la posición relativa de central a lateral, el campo luminoso varía según la altura del hueco, siendo más uniforme cuando el hueco se posiciona en el nivel superior que cuando se posiciona a ras de suelo ya que, a mayor altura, mayor profundidad de penetración de la luz natural.

**5.2.2.8 SUPERFICIE RELATIVA + POSICIÓN RELATIVA**

En esta serie de variaciones se estudia la influencia de la superficie relativa del hueco y su posición en el paramento.

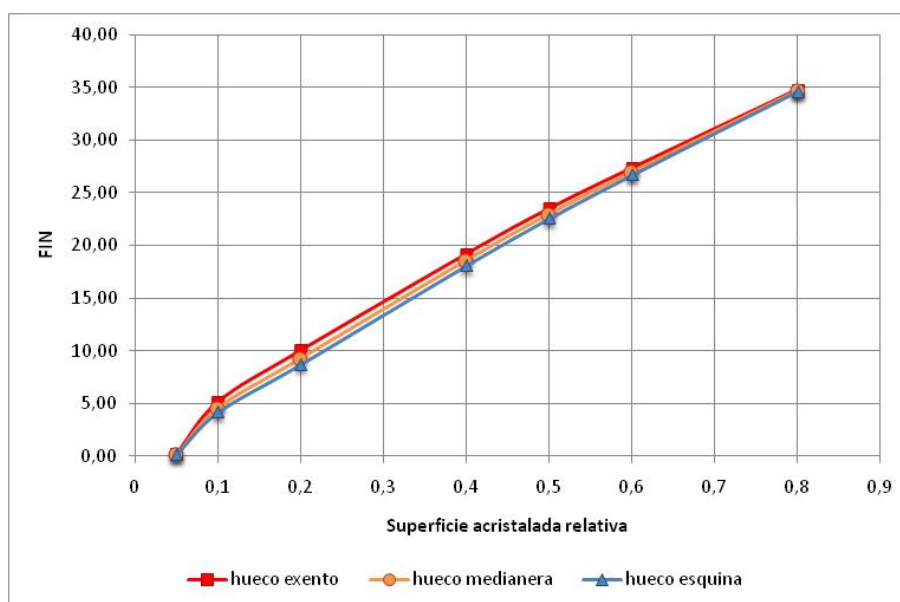


Como vamos a comparar las distintas variaciones en el hueco cenital, sólo se estudian los tres casos tipo: centrado, lateral y en esquina. Para realizar esta variación se toma el modelo creado para estudiar la influencia de la superficie relativa y se modifica su posición relativa en el paramento, dando los siguientes resultados

Nombre	Datos obtenidos con Lumen Micro 2000							
	E ext	E int (med)	FIN	FIN*	E int (máx)	FINmx	E int (mín)	FINmn
S_5	18845	44,15	<b>0,23</b>	<b>0,26</b>	69,84	<b>0,37</b>	23,59	<b>0,13</b>
<b>referencia</b>	18845	884,4	<b>4,69</b>	<b>5,16</b>	1348,9	<b>7,16</b>	484,5	<b>2,57</b>
S_20	18845	1721	<b>9,13</b>	<b>10,05</b>	2545	<b>13,50</b>	963	<b>5,11</b>

S_40	18845	3289	<b>17,45</b>	<b>19,20</b>	4625	<b>24,54</b>	1925	<b>10,21</b>
S_50	18845	4027	<b>21,37</b>	<b>23,51</b>	5528	<b>29,33</b>	2405	<b>12,76</b>
S_60	18845	4687	<b>24,87</b>	<b>27,36</b>	6335	<b>33,62</b>	2850	<b>15,12</b>
S_80	18845	5962	<b>31,64</b>	<b>34,80</b>	7774	<b>41,25</b>	3769	<b>20,00</b>
S_5 L	18845	35,33	<b>0,19</b>	<b>0,21</b>	66,52	<b>0,35</b>	13,45	<b>0,07</b>
<b>P_MD</b>	18845	791,4	<b>4,20</b>	<b>4,62</b>	1401,7	<b>7,44</b>	309,1	<b>1,64</b>
S_20 L	18845	1600	<b>8,49</b>	<b>9,34</b>	2629	<b>13,95</b>	665	<b>3,53</b>
S_40 L	18845	3191	<b>16,93</b>	<b>18,63</b>	4707	<b>24,98</b>	1516	<b>8,04</b>
S_50 L	18845	3944	<b>20,93</b>	<b>23,02</b>	5603	<b>29,73</b>	1994	<b>10,58</b>
S_60 L	18845	4626	<b>24,55</b>	<b>27,00</b>	6372	<b>33,81</b>	2475	<b>13,13</b>
S_80 L	18845	5946	<b>31,55</b>	<b>34,71</b>	7747	<b>41,11</b>	3553	<b>18,85</b>
S_5 E	18845	28,91	<b>0,15</b>	<b>0,17</b>	64,19	<b>0,34</b>	10,41	<b>0,06</b>
<b>P_ID</b>	18845	710,2	<b>3,77</b>	<b>4,15</b>	1457,2	<b>7,73</b>	241,1	<b>1,28</b>
S_20 E	18845	1490	<b>7,91</b>	<b>8,70</b>	2713	<b>14,40</b>	526	<b>2,79</b>
S_40 E	18845	3094	<b>16,42</b>	<b>18,06</b>	4788	<b>25,41</b>	1260	<b>6,69</b>
S_50 E	18845	3859	<b>20,48</b>	<b>22,53</b>	5678	<b>30,13</b>	1707	<b>9,06</b>
S_60 E	18845	4566	<b>24,23</b>	<b>26,65</b>	6410	<b>34,01</b>	2189	<b>11,62</b>
S_80 E	18845	5928	<b>31,46</b>	<b>34,60</b>	7716	<b>40,94</b>	3352	<b>17,79</b>

Si presentamos el Factor de Iluminación Natural en función de la superficie relativa del hueco:

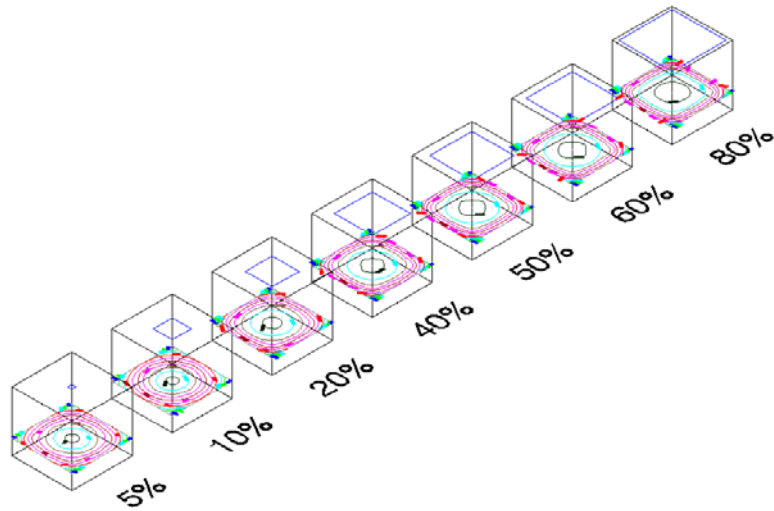


Podemos ver que, para las tres posiciones, los valores del factor de iluminación natural son muy parecidos. Las diferencias se deben a la presencia de superficies adyacentes al hueco donde se refleja la luz.

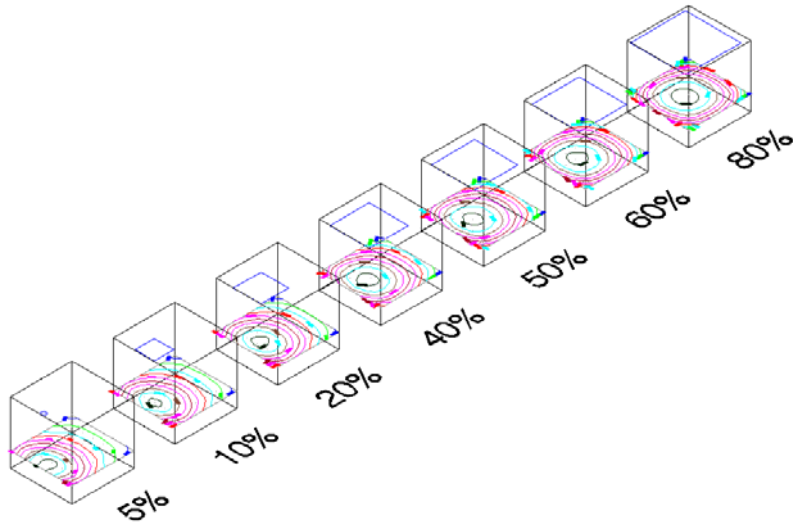
Nombre	Uniformidad		Nombre	Uniformidad		Nombre	Uniformidad	
	U med	U extr		U med	U extr		U med	U extr
S_5	<b>0,53</b>	<b>0,34</b>	S_5 L	<b>0,38</b>	<b>0,20</b>	S_5 E	<b>0,36</b>	<b>0,16</b>
<b>referencia</b>	<b>0,55</b>	<b>0,36</b>	<b>P_MD</b>	<b>0,39</b>	<b>0,22</b>	<b>P_ID</b>	<b>0,34</b>	<b>0,17</b>
S_20	<b>0,56</b>	<b>0,38</b>	S_20 L	<b>0,42</b>	<b>0,25</b>	S_20 E	<b>0,35</b>	<b>0,19</b>
S_40	<b>0,59</b>	<b>0,42</b>	S_40 L	<b>0,48</b>	<b>0,32</b>	S_40 E	<b>0,41</b>	<b>0,26</b>
S_50	<b>0,60</b>	<b>0,44</b>	S_50 L	<b>0,51</b>	<b>0,36</b>	S_50 E	<b>0,44</b>	<b>0,30</b>
S_60	<b>0,61</b>	<b>0,45</b>	S_60 L	<b>0,54</b>	<b>0,39</b>	S_60 E	<b>0,48</b>	<b>0,34</b>
S_80	<b>0,63</b>	<b>0,48</b>	S_80 L	<b>0,60</b>	<b>0,46</b>	S_80 E	<b>0,57</b>	<b>0,43</b>

Respecto al campo luminoso se distinguen tres situaciones distintas: hueco central centrado, hueco central lateral y hueco central en esquina. El coeficiente de uniformidad medio

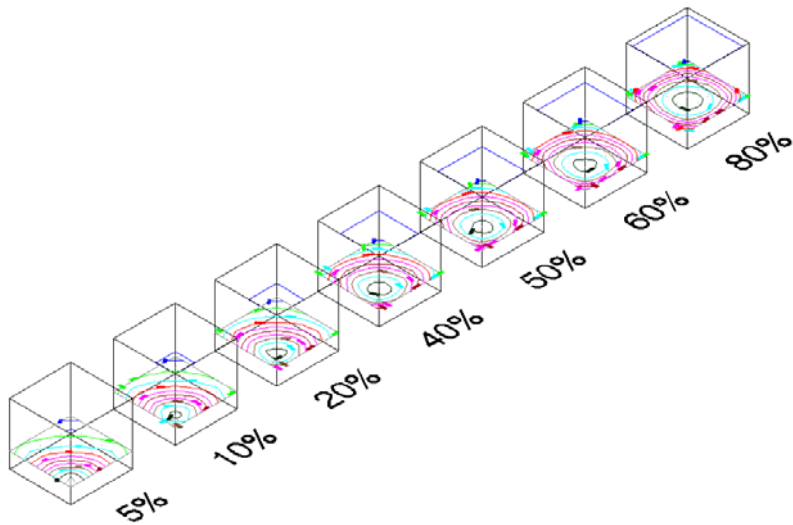
se reduce al cambiar la posición a un lateral y a una esquina, luego el cambio de posición relativa afecta a la uniformidad del campo luminoso.



Campo luminoso por hueco cenital centrado según superficie relativa (curvas isolux)



Campo luminoso por hueco cenital lateral según superficie relativa (curvas isolux)



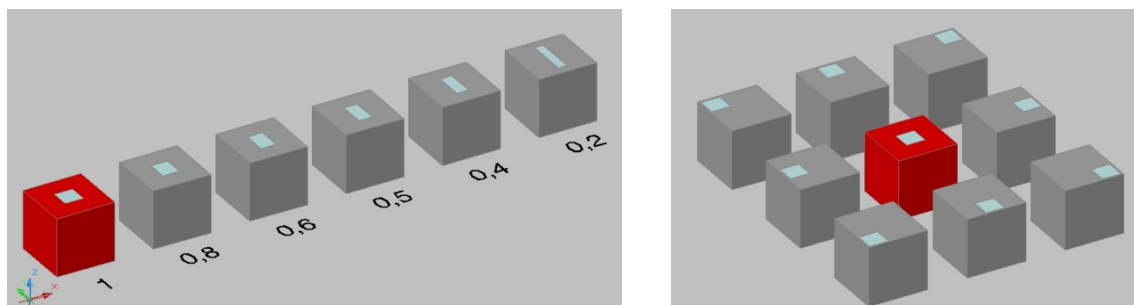
Campo luminoso por hueco cenital en esquina según superficie relativa

La relación entre el nivel mínimo y máximo en el hueco cenital también se reduce cuando se cambia la posición a un lateral y a una esquina. La posición relativa afecta a la uniformidad y al rango de valores de iluminación en el plano de trabajo.

En cuanto a la influencia de la superficie relativa, el campo luminoso presenta las mismas características que el correspondiente al modelo de referencia; la diferencia reside en los niveles alcanzados. Al mantener la orientación y la posición relativa, las características del campo luminoso son similares. Al aumentar la superficie relativa aumenta el coeficiente de uniformidad medio y el coeficiente de uniformidad extremo.

### 5.2.2.9 COEFICIENTE DE FORMA + POSICIÓN RELATIVA

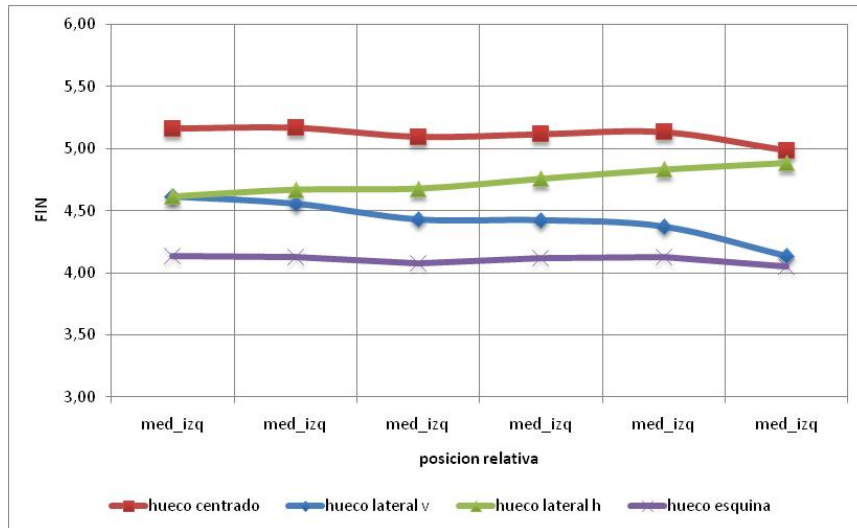
En esta serie de variaciones se estudia la influencia de la forma del hueco en la posición que ocupa dentro del paramento.



Como vamos a comparar las distintas variaciones en el hueco cenital, sólo se estudian los tres casos tipo: centrado, lateral y en esquina, pero como el coeficiente de forma estira el hueco en una dirección, se estudian las dos posiciones laterales. Para realizar esta variación se toma el modelo creado para estudiar la influencia del coeficiente de forma del hueco y se modifica su posición relativa en el paramento, dando los siguientes resultados

Nombre	Datos obtenidos con Lumen Micro 2000							
	E ext	E int (med)	FIN	FIN*	E int (máx)	FINmx	E int (mín)	FINmn
<b>referencia</b>	<b>18845</b>	<b>884,4</b>	<b>4,69</b>	<b>5,16</b>	<b>1348,9</b>	<b>7,16</b>	<b>484,5</b>	<b>2,57</b>
F_0,8	18845	885,4	<b>4,70</b>	<b>5,17</b>	1347,3	<b>7,15</b>	485,6	<b>2,58</b>
F_0,6	18845	873,1	<b>4,63</b>	<b>5,10</b>	1324,9	<b>7,03</b>	479,7	<b>2,55</b>
F_0,5	18845	876,5	<b>4,65</b>	<b>5,12</b>	1327,2	<b>7,04</b>	482,1	<b>2,56</b>
F_0,4	18845	879,5	<b>4,67</b>	<b>5,13</b>	1324,9	<b>7,03</b>	486,6	<b>2,58</b>
F_0,2	18845	854,4	<b>4,53</b>	<b>4,99</b>	1245,1	<b>6,61</b>	484,6	<b>2,57</b>
<b>P_MI</b>	<b>18845</b>	<b>790,4</b>	<b>4,19</b>	<b>4,61</b>	<b>1400,9</b>	<b>7,43</b>	<b>308,4</b>	<b>1,64</b>
F_0,8 MI	18845	780,5	<b>4,14</b>	<b>4,56</b>	1393,5	<b>7,39</b>	303,1	<b>1,61</b>
F_0,6 MI	18845	758,7	<b>4,03</b>	<b>4,43</b>	1360,4	<b>7,22</b>	292,8	<b>1,55</b>
F_0,5 MI	18845	757,6	<b>4,02</b>	<b>4,42</b>	1357,6	<b>7,20</b>	291,6	<b>1,55</b>
F_0,4 MI	18845	748,8	<b>3,97</b>	<b>4,37</b>	1339,1	<b>7,11</b>	287,5	<b>1,53</b>
F_0,2 MI	18845	707,9	<b>3,76</b>	<b>4,13</b>	1231,1	<b>6,53</b>	275,8	<b>1,46</b>
<b>P_IM</b>	<b>18845</b>	<b>790,4</b>	<b>4,19</b>	<b>4,61</b>	<b>1400,9</b>	<b>7,43</b>	<b>308,4</b>	<b>1,64</b>
F_0,8 IM	18845	799,8	<b>4,24</b>	<b>4,67</b>	1399,6	<b>7,43</b>	316,7	<b>1,68</b>
F_0,6 IM	18845	801,2	<b>4,25</b>	<b>4,68</b>	1374,4	<b>7,29</b>	323,9	<b>1,72</b>
F_0,5 IM	18845	814,8	<b>4,32</b>	<b>4,76</b>	1371,7	<b>7,28</b>	336	<b>1,78</b>
F_0,4 IM	18845	827,5	<b>4,39</b>	<b>4,83</b>	1355,9	<b>7,20</b>	351,3	<b>1,86</b>
F_0,2 IM	18845	836,6	<b>4,44</b>	<b>4,88</b>	1263,3	<b>6,70</b>	406,1	<b>2,15</b>
<b>P_II</b>	<b>18845</b>	<b>708,1</b>	<b>3,76</b>	<b>4,13</b>	<b>1455,5</b>	<b>7,72</b>	<b>240,1</b>	<b>1,27</b>
F_0,8 II	18845	706,8	<b>3,75</b>	<b>4,13</b>	1448,4	<b>7,69</b>	240,5	<b>1,28</b>
F_0,6 II	18845	697,8	<b>3,70</b>	<b>4,07</b>	1412	<b>7,49</b>	238,6	<b>1,27</b>
F_0,5 II	18845	705,6	<b>3,74</b>	<b>4,12</b>	1403,8	<b>7,45</b>	242,7	<b>1,29</b>
F_0,4 II	18845	706,7	<b>3,75</b>	<b>4,13</b>	1372,6	<b>7,28</b>	245,2	<b>1,30</b>
F_0,2 II	18845	694	<b>3,68</b>	<b>4,05</b>	1249,1	<b>6,63</b>	254,4	<b>1,35</b>

Si representamos gráficamente la relación entre el Factor de Iluminación Natural y el coeficiente de forma del hueco:



Como podemos observar, el hueco centrado y el hueco en esquina tienen el mismo comportamiento cuando se varía la forma; se diferencian en la cuantía de sus valores, debida a la reflexión con los paramentos.

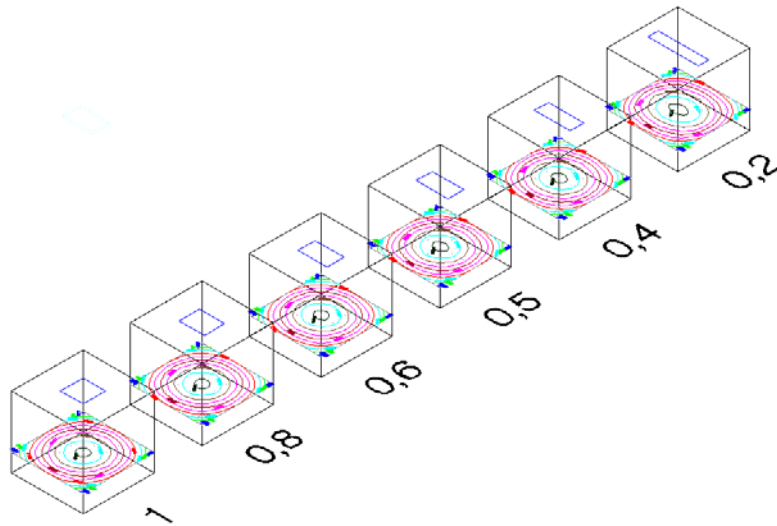
Sin embargo, los huecos que sólo tienen una pared adyacente tienen comportamientos diferentes, el hueco denominado lateral vertical es adyacente a la pared en el lado del hueco que disminuye, por lo que el valor del Factor de Iluminación Natural también disminuye ya que la reflexión en la pared adyacente disminuye.

El hueco denominado lateral horizontal tiene el comportamiento inverso. Es adyacente a la pared en el lado del hueco que aumenta, por lo que el valor del Factor de Iluminación Natural también aumenta ya que se incrementan las reflexiones en la pared adyacente.

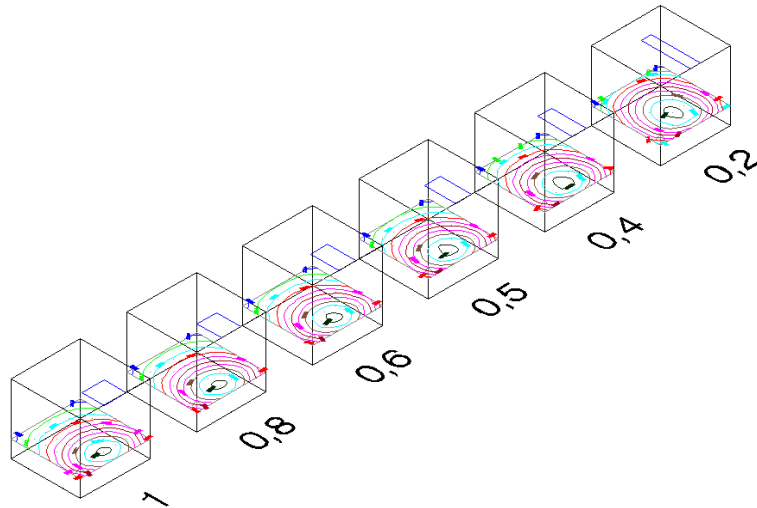
Nombre	Uniformidad		Nombre	Uniformidad	
	U med	U extr		U med	U extr
<b>referencia</b>	<b>0,55</b>	<b>0,36</b>	<b>P_MI</b>	<b>0,39</b>	<b>0,22</b>
F_0,8	0,55	0,36	F_0,8 MI	0,39	0,22
F_0,6	0,55	0,36	F_0,6 MI	0,39	0,22
F_0,5	0,55	0,36	F_0,5 MI	0,38	0,21
F_0,4	0,55	0,37	F_0,4 MI	0,38	0,21
F_0,2	0,57	0,39	F_0,2 MI	0,39	0,22
<b>P_IM</b>	<b>0,39</b>	<b>0,22</b>	<b>P_II</b>	<b>0,34</b>	<b>0,16</b>
F_0,8 IM	0,40	0,23	F_0,8 II	0,34	0,17
F_0,6 IM	0,40	0,24	F_0,6 II	0,34	0,17
F_0,5 IM	0,41	0,24	F_0,5 II	0,34	0,17
F_0,4 IM	0,42	0,26	F_0,4 II	0,35	0,18
F_0,2 IM	0,49	0,32	F_0,2 II	0,37	0,20

Respecto al campo luminoso se distinguen tres situaciones distintas: hueco cenital centrado, hueco cenital lateral y hueco cenital en esquina. El coeficiente de uniformidad medio se reduce al cambiar la posición a un lateral y a una esquina, luego el cambio de posición relativa afecta a la uniformidad del campo luminoso.

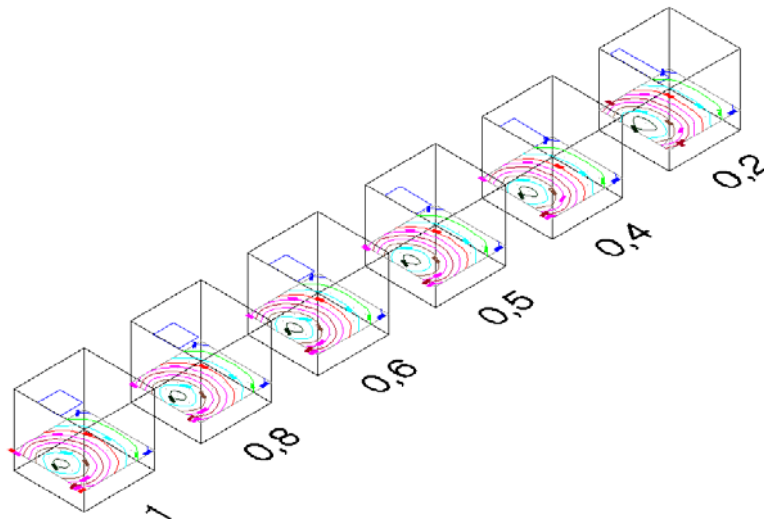
La relación entre el nivel mínimo y máximo en el hueco cenital también se reduce cuando se cambia la posición a un lateral y a una esquina. La posición relativa afecta a la uniformidad y al rango de valores de iluminación en el plano de trabajo.



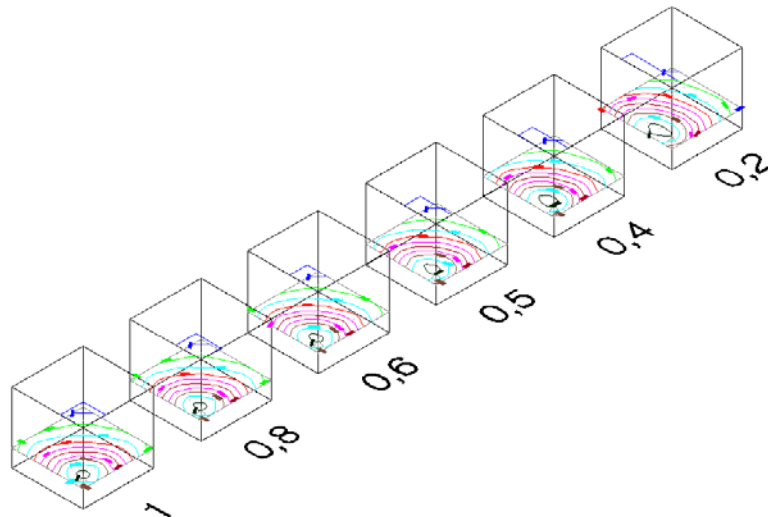
Campo luminoso centrado según coeficiente de forma (curvas isolux)



Campo luminoso lateral (vertical) según coeficiente de forma



Campo luminoso lateral (horizontal) según coeficiente de forma



Campo luminoso en esquina según coeficiente de forma

La variación del coeficiente de forma se deja ver en la leve deformación de las curvas isolux, que tienden a convertirse en curvas elípticas.

### 5.3 Variaciones sobre la Linterna

Una de las operaciones tridimensionales más comunes en iluminación cenital es la construcción de conductos de luz, también llamados chimeneas; son la evolución de lo que tradicionalmente se han conocido como Linternas, en ámbitos patrimoniales.

Esta operación nace con la intención de iluminar espacios que se sitúan varias plantas por debajo del nivel de captación de la luz natural. Esta serie de variaciones se encamina a realizar una primera estimación sobre estas operaciones.



Tal como se ha realizado para el modelo geométrico sencillo, para estudiar la influencia de la linterna y sus variaciones sobre la distribución de luz natural en el espacio, se realizarán las siguientes variaciones:

- Linterna de referencia
- Altura de la linterna
- Altura de linterna + Posición relativa
- Altura de linterna + Reflexión de los paramentos
- Altura de linterna + Orientación del hueco
- Altura de linterna + Superficie relativa
- Altura de linterna + Coeficiente de forma
- Linterna de lado a lado

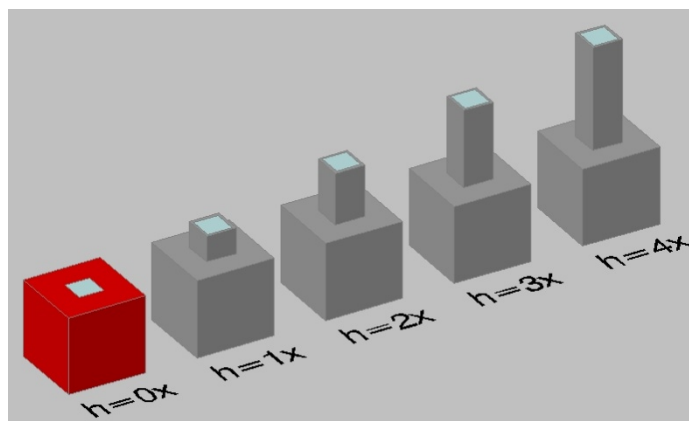


- Altura de la linterna
- Altura de linterna + Posición relativa
- Altura de linterna + Reflexión de los paramentos
- Altura de linterna + Orientación del hueco

### 5.3.1 Linterna de referencia

Si en el modelo espacial de referencia se estudiaba la influencia del hueco ubicado en el techo en una posición centrada, con una superficie relativa del 10% respecto a la superficie del suelo, de forma cuadrada; la linterna de referencia es la prolongación del hueco de referencia.

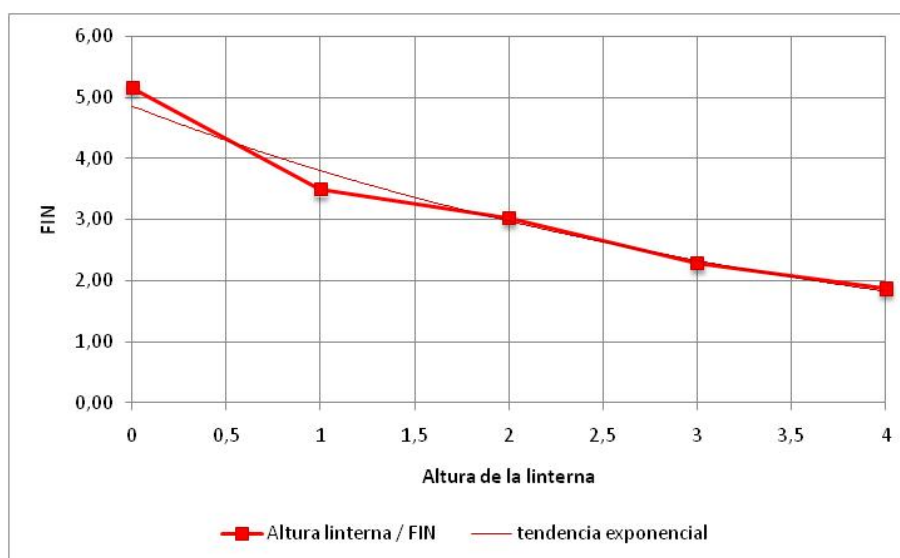
#### 5.3.1.1 ALTURA DE LA LINTERNA



El objetivo es determinar la influencia que tiene la profundidad de la linterna, puesta en relación con la dimensión X del hueco. Por defecto las paredes interiores de la linterna tienen un coeficiente de reflexión medio (0.5)

Nombre	Datos obtenidos con Lumen Micro 2000							
	E ext	E int (med)	FIN	FIN*	E int (máx)	FINmx	E int (mín)	FINmn
<b>referencia</b>	18845	884,4	<b>4,69</b>	<b>5,16</b>	1348,9	<b>7,16</b>	484,5	<b>2,57</b>
h_1	18845	320,2	<b>1,70</b>	<b>1,87</b>	672,5	<b>3,57</b>	98,7	<b>0,52</b>
h_2	18845	144,5	<b>0,77</b>	<b>0,84</b>	397,9	<b>2,11</b>	29	<b>0,15</b>
h_3	18845	75,54	<b>0,40</b>	<b>0,44</b>	261,05	<b>1,39</b>	19,24	<b>0,10</b>
h_4	18845	47,83	<b>0,25</b>	<b>0,28</b>	181,54	<b>0,96</b>	16,64	<b>0,09</b>

Si presentamos el factor de iluminación natural en función de la altura de la linterna:

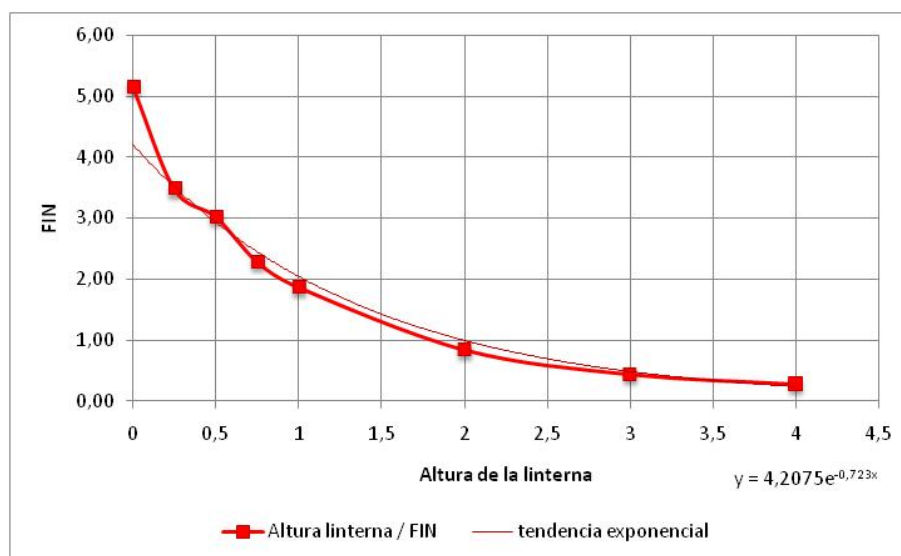


En la representación gráfica de los resultados se puede observar que la línea de tendencia exponencial se aproxima bastante a los valores obtenidos salvo para el caso en que la altura de la linterna es cero, es decir, el hueco es rasante.

Es probable que esta diferencia se deba a que, al no existir profundidad de linterna, no hay superficie reflectora. Posiblemente un estudio más afinado en el primer tramo puede dar algunas respuestas más.

Nombre	Datos obtenidos con Lumen Micro 2000							
	E ext	E int (med)	FIN	FIN*	E int (máx)	FINmx	E int (mín)	FINmn
<b>referencia</b>	18845	884,4	<b>4,69</b>	<b>5,16</b>	1348,9	<b>7,16</b>	484,5	<b>2,57</b>
h_0,25	18845	596,7	<b>3,17</b>	<b>3,48</b>	1083,1	<b>5,75</b>	257,5	<b>1,37</b>
h_0,5	18845	518,4	<b>2,75</b>	<b>3,03</b>	919,9	<b>4,88</b>	222	<b>1,18</b>
h_0,75	18845	391,7	<b>2,08</b>	<b>2,29</b>	773,5	<b>4,10</b>	141,7	<b>0,75</b>
h_1	18845	320,2	<b>1,70</b>	<b>1,87</b>	672,5	<b>3,57</b>	98,7	<b>0,52</b>
h_2	18845	144,5	<b>0,77</b>	<b>0,84</b>	397,9	<b>2,11</b>	29	<b>0,15</b>
h_3	18845	75,54	<b>0,40</b>	<b>0,44</b>	261,05	<b>1,39</b>	19,24	<b>0,10</b>
h_4	18845	47,83	<b>0,25</b>	<b>0,28</b>	181,54	<b>0,96</b>	16,64	<b>0,09</b>

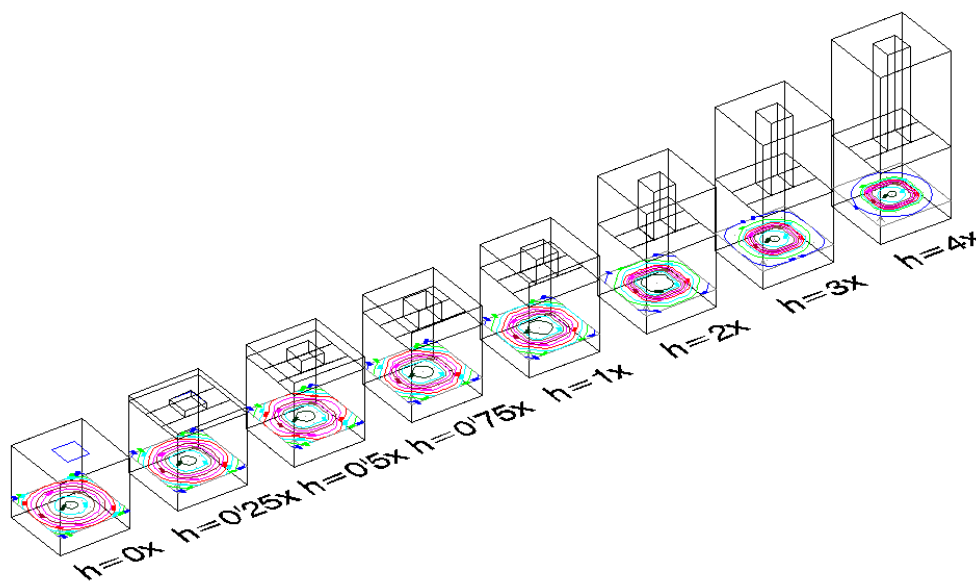
Al incorporar los cálculos más detallados en el rango entre 0 y 1, efectivamente los valores se aproximan a la línea de tendencia, por lo que parece que el valor para  $x = 0$  es el límite de esta serie y que para el valor de  $x = 4$  el factor de iluminación natural está muy cercano a cero, eso significa que la parte de luz natural exterior que entra en el espacio es prácticamente nula.



Para conocer el comportamiento del campo luminoso nos remitimos a los coeficientes de uniformidad:

Nombre	Uniformidad	
	U med	U extr
<b>referencia</b>	<b>0,55</b>	<b>0,36</b>
h_0,25	<b>0,43</b>	<b>0,24</b>
h_0,5	<b>0,43</b>	<b>0,24</b>
h_0,75	<b>0,36</b>	<b>0,18</b>
h_1	<b>0,31</b>	<b>0,15</b>
h_2	<b>0,20</b>	<b>0,07</b>
h_3	<b>0,25</b>	<b>0,07</b>
h_4	<b>0,35</b>	<b>0,09</b>

El coeficiente de uniformidad medio y el coeficiente de uniformidad extremo disminuyen al aumentar la altura de la linterna, produciendo un efecto focal en la distribución de la luz natural en el plano de trabajo.

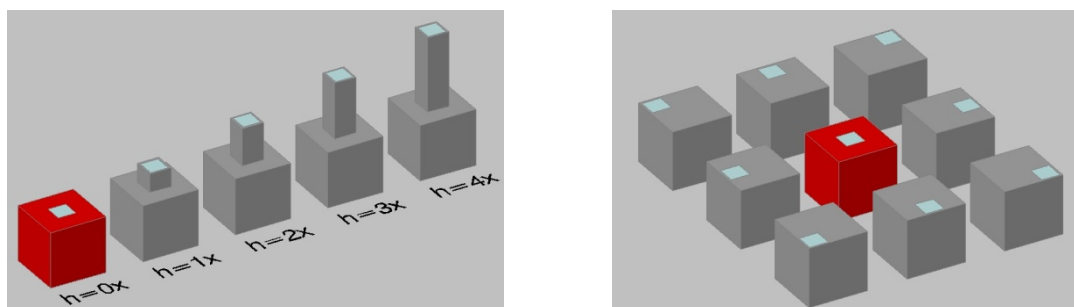


Campo luminoso según la altura de la linterna (curvas isolux)

Como podemos observar, a medida que aumenta la altura de la linterna las curvas isolux se concentran bajo el centro del hueco y adquieren una forma más cuadrada.

### 5.3.1.2 ALTURA DE LINTERNA + POSICIÓN RELATIVA

En esta serie de variaciones se intenta relacionar el efecto de la altura de la linterna con la posición que ocupa dentro del paramento

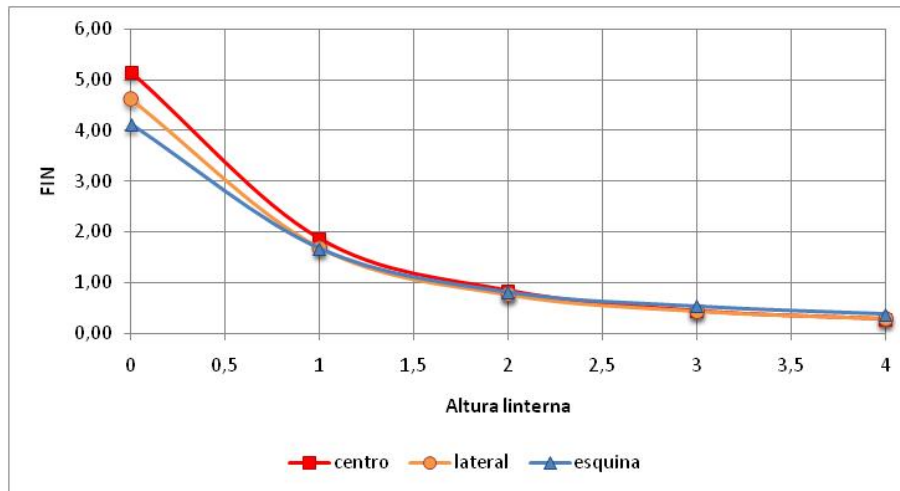


En el programa introducimos el modelo espacial utilizado para estudiar las variaciones de la altura de la linterna y se modifica la posición relativa del hueco. Como las dos variables se aplican al hueco cenital sólo se estudian los tres casos tipo: centrado, lateral y en esquina, dando los siguientes resultados:

Nombre	Datos obtenidos con Lumen Micro 2000							
	E ext	E int (med)	FIN	FIN*	E int (máx)	FINmx	E int (mín)	FINmn
<b>referencia</b>	18845	884,4	<b>4,69</b>	<b>5,16</b>	1348,9	<b>7,16</b>	484,5	<b>2,57</b>
h_1	18845	320,2	<b>1,70</b>	<b>1,87</b>	672,5	<b>3,57</b>	98,7	<b>0,52</b>
h_2	18845	144,5	<b>0,77</b>	<b>0,84</b>	397,9	<b>2,11</b>	29	<b>0,15</b>
h_3	18845	75,54	<b>0,40</b>	<b>0,44</b>	261,05	<b>1,39</b>	19,24	<b>0,10</b>
h_4	18845	47,83	<b>0,25</b>	<b>0,28</b>	181,54	<b>0,96</b>	16,64	<b>0,09</b>
<b>lateral</b>	18845	790,1	<b>4,19</b>	<b>4,61</b>	1400,6	<b>7,43</b>	308,2	<b>1,64</b>
h_1 L	18845	288,7	<b>1,53</b>	<b>1,69</b>	692	<b>3,67</b>	56	<b>0,30</b>
h_2 L	18845	129,8	<b>0,69</b>	<b>0,76</b>	401,5	<b>2,13</b>	19,6	<b>0,10</b>
h_3 L	18845	74,35	<b>0,39</b>	<b>0,43</b>	265,99	<b>1,41</b>	14,82	<b>0,08</b>
h_4 L	18845	48,83	<b>0,26</b>	<b>0,29</b>	189,08	<b>1,00</b>	12,53	<b>0,07</b>
<b>esquina</b>	18845	707,6	<b>3,75</b>	<b>4,13</b>	1455	<b>7,72</b>	239,7	<b>1,27</b>
h_1 E	18845	286,7	<b>1,52</b>	<b>1,67</b>	743,7	<b>3,95</b>	49,6	<b>0,26</b>

h_2 E	18845	138,2	<b>0,73</b>	<b>0,81</b>	446,5	<b>2,37</b>	24,5	<b>0,13</b>
h_3 E	18845	90,27	<b>0,48</b>	<b>0,53</b>	298,05	<b>1,58</b>	19,6	<b>0,10</b>
h_4 E	18845	64,4	<b>0,34</b>	<b>0,38</b>	213,22	<b>1,13</b>	15,87	<b>0,08</b>

Si presentamos el factor de iluminación natural en función de la altura de la linterna:



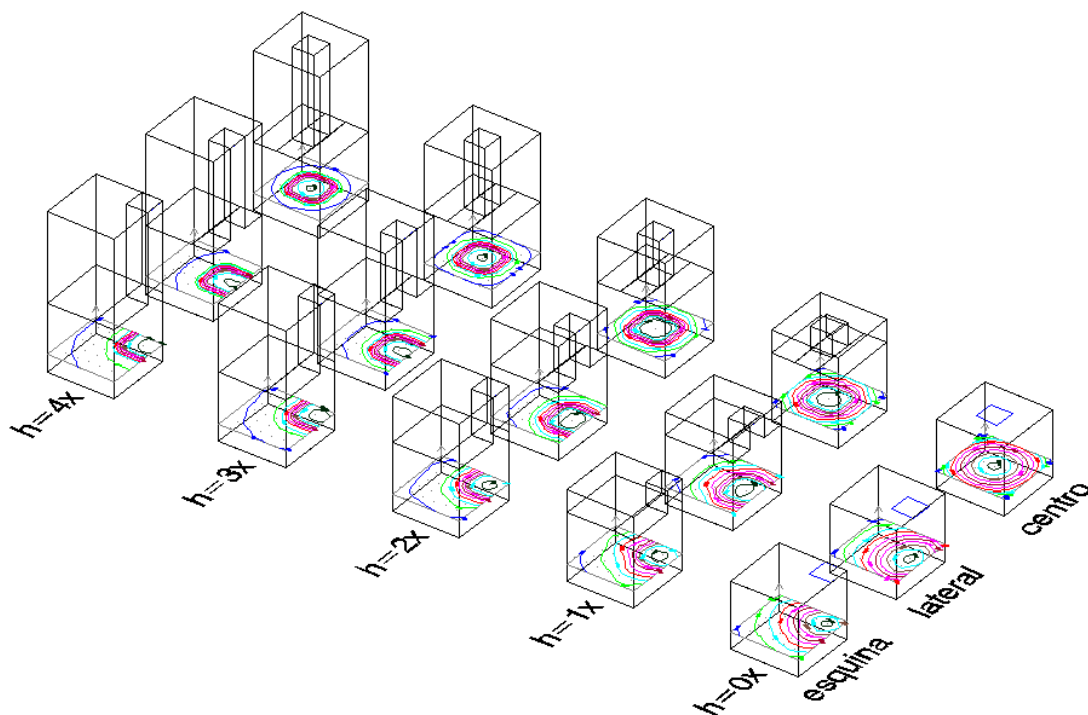
Podemos observar que a medida que aumentamos la altura de la linterna se dejan de apreciar las diferencias cuantitativas de la posición de la linterna.

Nombre	Uniformidad		Nombre	Uniformidad		Nombre	Uniformidad	
	U med	U extr		U med	U extr		U med	U extr
referencia	<b>0,55</b>	<b>0,36</b>	lateral	<b>0,39</b>	<b>0,22</b>	esquina	<b>0,34</b>	<b>0,16</b>
h_1	<b>0,31</b>	<b>0,15</b>	h_1 L	<b>0,19</b>	<b>0,08</b>	h_1 E	<b>0,17</b>	<b>0,07</b>
h_2	<b>0,20</b>	<b>0,07</b>	h_2 L	<b>0,15</b>	<b>0,05</b>	h_2 E	<b>0,18</b>	<b>0,05</b>
h_3	<b>0,25</b>	<b>0,07</b>	h_3 L	<b>0,20</b>	<b>0,06</b>	h_3 E	<b>0,22</b>	<b>0,07</b>
h_4	<b>0,35</b>	<b>0,09</b>	h_4 L	<b>0,26</b>	<b>0,07</b>	h_4 E	<b>0,25</b>	<b>0,07</b>

Se distinguen tres situaciones distintas: hueco cenital centrado, hueco cenital lateral y hueco cenital en esquina. El coeficiente de uniformidad medio se reduce al cambiar la posición a un lateral y a una esquina, luego el cambio de posición relativa afecta a la uniformidad del campo luminoso.

Además, el coeficiente de uniformidad medio y el coeficiente de uniformidad extremo disminuyen al aumentar la altura de la linterna, produciendo un efecto focal en la distribución de la luz natural en el plano de trabajo.

La relación entre el nivel mínimo y máximo en el hueco cenital también se reduce cuando se cambia la posición a un lateral y a una esquina. La posición relativa afecta a la uniformidad y al rango de valores de iluminación en el plano de trabajo.

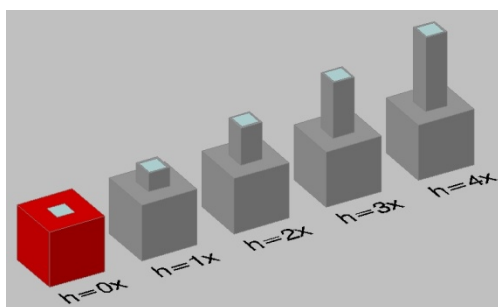


Campo luminoso en función de la altura de la linterna y la posición relativa

Como podemos observar, a medida que aumenta la altura de la linterna las curvas isolux se concentran bajo el centro del hueco y adquieren una forma más cuadrada.

### 5.3.1.3 ALTURA DE LINTERNA + REFLEXIÓN

En esta serie de variaciones primero veremos la influencia de cambiar el coeficiente de reflexión de las paredes de la chimenea, así como la incidencia de la reflexión del suelo y techo cuando se incorpora un elemento de conducción de luz en el espacio.



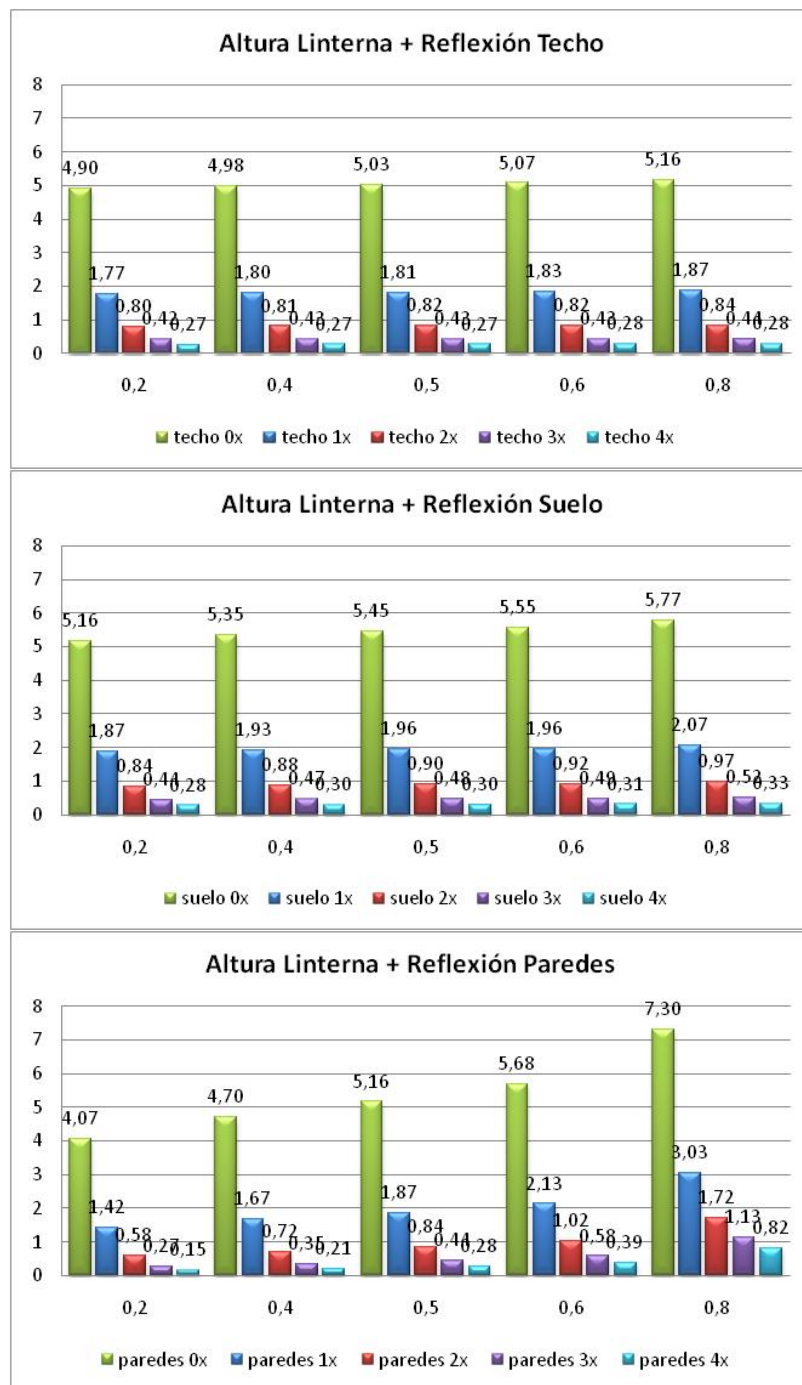
En el programa introducimos el modelo espacial utilizado para estudiar las variaciones de la altura de la linterna y se modifican los coeficientes de reflexión. En una primera aproximación cambiamos el coeficiente de reflexión de todo el espacio, por lo que la reflexión interna de la linterna cambia con la reflexión de las paredes.

Nombre	Datos obtenidos con Lumen Micro 2000							
	E ext	E int (med)	FIN	FIN*	E int (máx)	FINmx	E int (mín)	FINmn
tec_0,2	18845	839,7	<b>4,46</b>	<b>4,90</b>	1299,2	<b>6,89</b>	451,3	<b>2,39</b>
tec_0,4	18845	853,5	<b>4,53</b>	<b>4,98</b>	1314,5	<b>6,98</b>	461,6	<b>2,45</b>
tec_0,5	18845	861	<b>4,57</b>	<b>5,03</b>	1322,9	<b>7,02</b>	467,2	<b>2,48</b>
tec_0,6	18845	868,7	<b>4,61</b>	<b>5,07</b>	1331,4	<b>7,07</b>	472,9	<b>2,51</b>
<b>referencia</b>	<b>18845</b>	<b>884,4</b>	<b>4,69</b>	<b>5,16</b>	<b>1348,9</b>	<b>7,16</b>	<b>484,5</b>	<b>2,57</b>
sue_0,4	18845	915,8	<b>4,86</b>	<b>5,35</b>	1378,2	<b>7,31</b>	510,1	<b>2,71</b>
sue_0,5	18845	933,3	<b>4,95</b>	<b>5,45</b>	1394,6	<b>7,40</b>	524,4	<b>2,78</b>
sue_0,6	18845	951,5	<b>5,05</b>	<b>5,55</b>	1411,6	<b>7,49</b>	539,2	<b>2,86</b>

sue_0,8	18845	988,8	<b>5,25</b>	<b>5,77</b>	1446,5	<b>7,68</b>	569,6	<b>3,02</b>
par_0,2	18845	697,5	<b>3,70</b>	<b>4,07</b>	1180,3	<b>6,26</b>	347,2	<b>1,84</b>
par_0,4	18845	805	<b>4,27</b>	<b>4,70</b>	1277,6	<b>6,78</b>	424,8	<b>2,25</b>
<b>referencia</b>	<b>18845</b>	<b>884,4</b>	<b>4,69</b>	<b>5,16</b>	<b>1348,9</b>	<b>7,16</b>	<b>484,5</b>	<b>2,57</b>
par_0,6	18845	972,6	<b>5,16</b>	<b>5,68</b>	1427,5	<b>7,57</b>	552,4	<b>2,93</b>
par_0,8	18845	1251	<b>6,64</b>	<b>7,30</b>	1673	<b>8,88</b>	773	<b>4,10</b>
h1 tec_0,2	18845	303,3	<b>1,61</b>	<b>1,77</b>	650	<b>3,45</b>	90,1	<b>0,48</b>
h1 tec_0,4	18845	308,9	<b>1,64</b>	<b>1,80</b>	651,2	<b>3,46</b>	92,9	<b>0,49</b>
h1 tec_0,5	18845	310,8	<b>1,65</b>	<b>1,81</b>	651,8	<b>3,46</b>	94,3	<b>0,50</b>
h1 tec_0,6	18845	313,9	<b>1,67</b>	<b>1,83</b>	652,5	<b>3,46</b>	95,7	<b>0,51</b>
<b>h_1</b>	<b>18845</b>	<b>320,2</b>	<b>1,70</b>	<b>1,87</b>	<b>672,5</b>	<b>3,57</b>	<b>98,7</b>	<b>0,52</b>
h1 sue_0,4	18845	330,5	<b>1,75</b>	<b>1,93</b>	685,4	<b>3,64</b>	103,9	<b>0,55</b>
h1 sue_0,5	18845	336,3	<b>1,78</b>	<b>1,96</b>	692,6	<b>3,68</b>	106,7	<b>0,57</b>
h1 sue_0,6	18845	336,3	<b>1,78</b>	<b>1,96</b>	692,6	<b>3,68</b>	106,7	<b>0,57</b>
h1 sue_0,8	18845	354,6	<b>1,88</b>	<b>2,07</b>	715,3	<b>3,80</b>	115,8	<b>0,61</b>
h1 par_0,2	18845	243,9	<b>1,29</b>	<b>1,42</b>	562,9	<b>2,99</b>	61,7	<b>0,33</b>
h1 par_0,4	18845	285,4	<b>1,51</b>	<b>1,67</b>	617,8	<b>3,28</b>	82,3	<b>0,44</b>
<b>h_1</b>	<b>18845</b>	<b>320,2</b>	<b>1,70</b>	<b>1,87</b>	<b>672,5</b>	<b>3,57</b>	<b>98,7</b>	<b>0,52</b>
h1 par_0,6	18845	364,2	<b>1,93</b>	<b>2,13</b>	729,9	<b>3,87</b>	120,8	<b>0,64</b>
h1 par_0,8	18845	519,8	<b>2,76</b>	<b>3,03</b>	930,1	<b>4,94</b>	196,9	<b>1,04</b>
h2 tec_0,2	18845	136,9	<b>0,73</b>	<b>0,80</b>	387	<b>2,05</b>	24,8	<b>0,13</b>
h2 tec_0,4	18845	139,2	<b>0,74</b>	<b>0,81</b>	387,6	<b>2,06</b>	26,1	<b>0,14</b>
h2 tec_0,5	18845	140,1	<b>0,74</b>	<b>0,82</b>	387,9	<b>2,06</b>	26,8	<b>0,14</b>
h2 tec_0,6	18845	141	<b>0,75</b>	<b>0,82</b>	388,2	<b>2,06</b>	27,5	<b>0,15</b>
<b>h_2</b>	<b>18845</b>	<b>144,5</b>	<b>0,77</b>	<b>0,84</b>	<b>397,9</b>	<b>2,11</b>	<b>29</b>	<b>0,15</b>
h2 sue_0,4	18845	151	<b>0,80</b>	<b>0,88</b>	406	<b>2,15</b>	32,4	<b>0,17</b>
h2 sue_0,5	18845	154,6	<b>0,82</b>	<b>0,90</b>	410,5	<b>2,18</b>	34,3	<b>0,18</b>
h2 sue_0,6	18845	158,4	<b>0,84</b>	<b>0,92</b>	415,2	<b>2,20</b>	36,3	<b>0,19</b>
h2 sue_0,8	18845	166,1	<b>0,88</b>	<b>0,97</b>	424,8	<b>2,25</b>	40,5	<b>0,21</b>
h2 par_0,2	18845	99,91	<b>0,53</b>	<b>0,58</b>	333,54	<b>1,77</b>	7,36	<b>0,04</b>
h2 par_0,4	18845	122,8	<b>0,65</b>	<b>0,72</b>	364,4	<b>1,93</b>	18,5	<b>0,10</b>
<b>h_2</b>	<b>18845</b>	<b>144,5</b>	<b>0,77</b>	<b>0,84</b>	<b>397,9</b>	<b>2,11</b>	<b>29</b>	<b>0,15</b>
h2 par_0,6	18845	175,4	<b>0,93</b>	<b>1,02</b>	439,1	<b>2,33</b>	44,7	<b>0,24</b>
h2 par_0,8	18845	295,3	<b>1,57</b>	<b>1,72</b>	596,8	<b>3,17</b>	105,8	<b>0,56</b>
h3 tec_0,2	18845	71,85	<b>0,38</b>	<b>0,42</b>	260,12	<b>1,38</b>	16,73	<b>0,09</b>
h3 tec_0,4	18845	73,08	<b>0,39</b>	<b>0,43</b>	260,42	<b>1,38</b>	17,54	<b>0,09</b>
h3 tec_0,5	18845	73,59	<b>0,39</b>	<b>0,43</b>	260,58	<b>1,38</b>	17,95	<b>0,10</b>
h3 tec_0,6	18845	74,12	<b>0,39</b>	<b>0,43</b>	260,73	<b>1,38</b>	18,38	<b>0,10</b>
<b>h_3</b>	<b>18845</b>	<b>75,54</b>	<b>0,40</b>	<b>0,44</b>	<b>261,05</b>	<b>1,39</b>	<b>19,24</b>	<b>0,10</b>
h3 sue_0,4	18845	79,72	<b>0,42</b>	<b>0,47</b>	269,71	<b>1,43</b>	21,69	<b>0,12</b>
h3 sue_0,5	18845	81,79	<b>0,43</b>	<b>0,48</b>	271,9	<b>1,44</b>	23,05	<b>0,12</b>
h3 sue_0,6	18845	83,92	<b>0,45</b>	<b>0,49</b>	274,17	<b>1,45</b>	24,45	<b>0,13</b>
h3 sue_0,8	18845	88,3	<b>0,47</b>	<b>0,52</b>	278,83	<b>1,48</b>	27,33	<b>0,15</b>
h3 par_0,2	18845	45,5	<b>0,24</b>	<b>0,27</b>	220,36	<b>1,17</b>	2,79	<b>0,01</b>
h3 par_0,4	18845	59,54	<b>0,32</b>	<b>0,35</b>	236,33	<b>1,25</b>	10,85	<b>0,06</b>
<b>h_3</b>	<b>18845</b>	<b>75,54</b>	<b>0,40</b>	<b>0,44</b>	<b>261,05</b>	<b>1,39</b>	<b>19,24</b>	<b>0,10</b>
h3 par_0,6	18845	99,17	<b>0,53</b>	<b>0,58</b>	297,07	<b>1,58</b>	32,68	<b>0,17</b>
h3 par_0,8	18845	193,7	<b>1,03</b>	<b>1,13</b>	418,9	<b>2,22</b>	89,1	<b>0,47</b>
h4 tec_0,2	18845	45,76	<b>0,24</b>	<b>0,27</b>	180,95	<b>0,96</b>	14,81	<b>0,08</b>
h4 tec_0,4	18845	46,43	<b>0,25</b>	<b>0,27</b>	181,14	<b>0,96</b>	15,4	<b>0,08</b>
h4 tec_0,5	18845	46,76	<b>0,25</b>	<b>0,27</b>	181,24	<b>0,96</b>	15,7	<b>0,08</b>
h4 tec_0,6	18845	47,12	<b>0,25</b>	<b>0,28</b>	181,34	<b>0,96</b>	16,01	<b>0,08</b>

<b>h_4</b>	18845	47,83	<b>0,25</b>	<b>0,28</b>	181,54	<b>0,96</b>	16,64	<b>0,09</b>
h4 sue_0,4	18845	50,85	<b>0,27</b>	<b>0,30</b>	187,19	<b>0,99</b>	18,73	<b>0,10</b>
h4 sue_0,5	18845	52,23	<b>0,28</b>	<b>0,30</b>	188,6	<b>1,00</b>	19,89	<b>0,11</b>
h4 sue_0,6	18845	53,66	<b>0,28</b>	<b>0,31</b>	190,05	<b>1,01</b>	21,08	<b>0,11</b>
h4 sue_0,8	18845	56,58	<b>0,30</b>	<b>0,33</b>	193,03	<b>1,02</b>	23,54	<b>0,12</b>
h4 par_0,2	18845	26,17	<b>0,14</b>	<b>0,15</b>	154,67	<b>0,82</b>	2,08	<b>0,01</b>
h4 par_0,4	18845	36,24	<b>0,19</b>	<b>0,21</b>	164,94	<b>0,88</b>	9,06	<b>0,05</b>
<b>h_4</b>	18845	47,83	<b>0,25</b>	<b>0,28</b>	181,54	<b>0,96</b>	16,64	<b>0,09</b>
h4 par_0,6	18845	66,06	<b>0,35</b>	<b>0,39</b>	206,59	<b>1,10</b>	29,04	<b>0,15</b>
h4 par_0,8	18845	139,9	<b>0,74</b>	<b>0,82</b>	294,8	<b>1,56</b>	82,9	<b>0,44</b>

Si presentamos la relación entre el Factor de Iluminación Natural y el coeficiente de reflexión para cada grupo de paramentos:

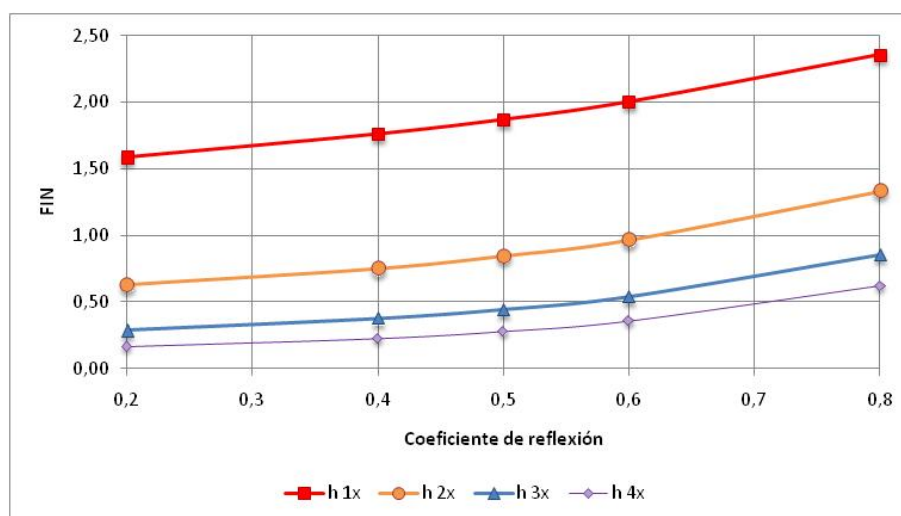


Podemos ver que cada grupo evoluciona del mismo modo, siguiendo las leyes de comportamiento descritas en la variación de la reflexión. Además, cada grupo sigue el comportamiento expuesto para la altura de linterna. Luego, en este caso, ambos comportamientos se suman.

Es cierto, que en esta primera aproximación hemos cambiado el coeficiente de reflexión de los paramentos interiores del espacio, por lo que no podemos apreciar la influencia de la linterna, sino el conjunto. Por lo tanto se hace un segundo estudio donde sólo se varía el coeficiente de reflexión de los paramentos de la linterna, manteniendo el espacio modelo invariable.

Nombre	Datos obtenidos con Lumen Micro 2000							
	E ext	E int (med)	FIN	FIN*	E int (máx)	FINmx	E int (mín)	FINmn
<b>referencia</b>	<b>18845</b>	<b>884,4</b>	<b>4,69</b>	<b>5,16</b>	<b>1348,9</b>	<b>7,16</b>	<b>484,5</b>	<b>2,57</b>
h1 par_0,2 L	18845	271,7	<b>1,44</b>	<b>1,59</b>	593,4	<b>3,15</b>	72,1	<b>0,38</b>
h1 par_0,4 L	18845	301,7	<b>1,60</b>	<b>1,76</b>	646,7	<b>3,43</b>	88,4	<b>0,47</b>
<b>h_1</b>	<b>18845</b>	<b>320,2</b>	<b>1,70</b>	<b>1,87</b>	<b>672,5</b>	<b>3,57</b>	<b>98,7</b>	<b>0,52</b>
h1 par_0,6 L	18845	343,1	<b>1,82</b>	<b>2,00</b>	704,6	<b>3,74</b>	111,6	<b>0,59</b>
h1 par_0,8 L	18845	403,6	<b>2,14</b>	<b>2,36</b>	789,6	<b>4,19</b>	145,6	<b>0,77</b>
h2 par_0,2 L	18845	107,36	<b>0,57</b>	<b>0,63</b>	342,88	<b>1,82</b>	10,97	<b>0,06</b>
h2 par_0,4 L	18845	128,2	<b>0,68</b>	<b>0,75</b>	369,7	<b>1,96</b>	21,3	<b>0,11</b>
<b>h_2</b>	<b>18845</b>	<b>144,5</b>	<b>0,77</b>	<b>0,84</b>	<b>397,9</b>	<b>2,11</b>	<b>29</b>	<b>0,15</b>
h2 par_0,6 L	18845	165	<b>0,88</b>	<b>0,96</b>	426,3	<b>2,26</b>	39,5	<b>0,21</b>
h2 par_0,8 L	18845	227,9	<b>1,21</b>	<b>1,33</b>	513,8	<b>2,73</b>	72,6	<b>0,39</b>
h3 par_0,2 L	18845	48,87	<b>0,26</b>	<b>0,29</b>	220,36	<b>1,17</b>	5,4	<b>0,03</b>
h3 par_0,4 L	18845	63,89	<b>0,34</b>	<b>0,37</b>	236,34	<b>1,25</b>	13,12	<b>0,07</b>
<b>h_3</b>	<b>18845</b>	<b>75,54</b>	<b>0,40</b>	<b>0,44</b>	<b>261,05</b>	<b>1,39</b>	<b>19,24</b>	<b>0,10</b>
h3 par_0,6 L	18845	92,14	<b>0,49</b>	<b>0,54</b>	284,04	<b>1,51</b>	28,17	<b>0,15</b>
h3 par_0,8 L	18845	146,4	<b>0,78</b>	<b>0,85</b>	372	<b>1,97</b>	58,3	<b>0,31</b>
h4 par_0,2 L	18845	28,33	<b>0,15</b>	<b>0,17</b>	154,67	<b>0,82</b>	4,41	<b>0,02</b>
h4 par_0,4 L	18845	38,69	<b>0,21</b>	<b>0,23</b>	164,95	<b>0,88</b>	11,15	<b>0,06</b>
<b>h_4</b>	<b>18845</b>	<b>47,83</b>	<b>0,25</b>	<b>0,28</b>	<b>181,54</b>	<b>0,96</b>	<b>16,64</b>	<b>0,09</b>
h4 par_0,6 L	18845	61,17	<b>0,32</b>	<b>0,36</b>	197,93	<b>1,05</b>	24,79	<b>0,13</b>
h4 par_0,8 L	18845	106,37	<b>0,56</b>	<b>0,62</b>	263,25	<b>1,40</b>	53,13	<b>0,28</b>

Con estos resultados podemos determinar la influencia de la reflexión de los paramentos interiores de la linterna:



Cuando variamos la altura de la linterna y el coeficiente de reflexión de sus paramentos los valores que se obtienen de Factor de Iluminación Natural siguen los comportamientos



estudiados para cada variable por separado. A medida que aumenta la altura de la linterna, disminuye el factor de iluminación natural, pero éste aumenta con el coeficiente de reflexión.

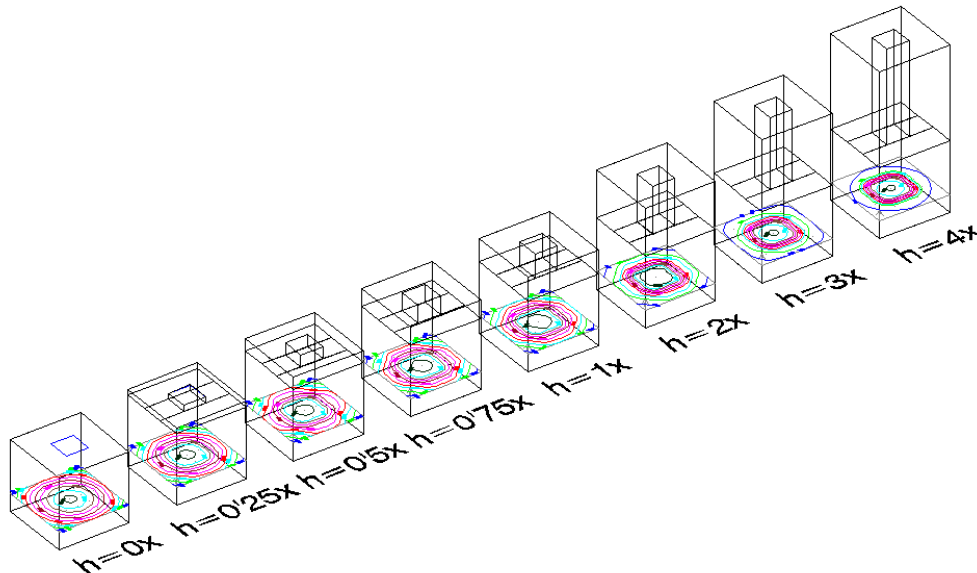
Respecto al campo luminoso, la influencia de los coeficientes de reflexión sólo se evidencia cuantitativamente, ya que no modifica las características de la distribución de la luz en el plano de trabajo.

Nombre	Uniformidad		Nombre	Uniformidad	
	U med	U extr		U med	U extr
tec_0,2	0,54	0,35	h1 tec_0,2	0,30	0,14
tec_0,4	0,54	0,35	h1 tec_0,4	0,30	0,14
tec_0,5	0,54	0,35	h1 tec_0,5	0,30	0,14
tec_0,6	0,54	0,36	h1 tec_0,6	0,30	0,15
<b>referencia</b>	<b>0,55</b>	<b>0,36</b>	<b>h_1</b>	<b>0,31</b>	<b>0,15</b>
sue_0,4	0,56	0,37	h1 sue_0,4	0,31	0,15
sue_0,5	0,56	0,38	h1 sue_0,5	0,32	0,15
sue_0,6	0,57	0,38	h1 sue_0,6	0,32	0,15
sue_0,8	0,58	0,39	h1 sue_0,8	0,33	0,16
par_0,2	0,50	0,29	h1 par_0,2	0,25	0,11
par_0,4	0,53	0,33	h1 par_0,4	0,29	0,13
<b>referencia</b>	<b>0,55</b>	<b>0,36</b>	<b>h_1</b>	<b>0,31</b>	<b>0,15</b>
par_0,6	0,57	0,39	h1 par_0,6	0,33	0,17
par_0,8	0,62	0,46	h1 par_0,8	0,38	0,21
h2 tec_0,2	0,18	0,06	h3 tec_0,2	0,23	0,06
h2 tec_0,4	0,19	0,07	h3 tec_0,4	0,24	0,07
h2 tec_0,5	0,19	0,07	h3 tec_0,5	0,24	0,07
h2 tec_0,6	0,20	0,07	h3 tec_0,6	0,25	0,07
<b>h_2</b>	<b>0,20</b>	<b>0,07</b>	<b>h_3</b>	<b>0,25</b>	<b>0,07</b>
h2 sue_0,4	0,21	0,08	h3 sue_0,4	0,27	0,08
h2 sue_0,5	0,22	0,08	h3 sue_0,5	0,28	0,08
h2 sue_0,6	0,23	0,09	h3 sue_0,6	0,29	0,09
h2 sue_0,8	0,24	0,10	h3 sue_0,8	0,31	0,10
h2 par_0,2	0,07	0,02	h3 par_0,2	0,06	0,01
h2 par_0,4	0,15	0,05	h3 par_0,4	0,18	0,05
<b>h_2</b>	<b>0,20</b>	<b>0,07</b>	<b>h_3</b>	<b>0,25</b>	<b>0,07</b>
h2 par_0,6	0,25	0,10	h3 par_0,6	0,33	0,11
h2 par_0,8	0,36	0,18	h3 par_0,8	0,46	0,21
h4 tec_0,2	0,32	0,08			
h4 tec_0,4	0,33	0,09			
h4 tec_0,5	0,34	0,09			
h4 tec_0,6	0,34	0,09			
<b>h_4</b>	<b>0,35</b>	<b>0,09</b>			
h4 sue_0,4	0,37	0,10			
h4 sue_0,5	0,38	0,11			
h4 sue_0,6	0,39	0,11			
h4 sue_0,8	0,42	0,12			
h4 par_0,2	0,08	0,01			
h4 par_0,4	0,25	0,05			
<b>h_4</b>	<b>0,35</b>	<b>0,09</b>			
h4 par_0,6	0,44	0,14			
h4 par_0,8	0,59	0,28			

Los coeficientes de uniformidad medio y extremo mantienen en el mismo comportamiento que el estadio de referencia, por lo que la uniformidad del campo luminoso es similar cuando se varían los coeficientes de reflexión.

Nombre	Uniformidad		Nombre	Uniformidad	
	U med	U extr		U med	U extr
h1 par_0,2 L	0,27	0,12	h2 par_0,2 L	0,10	0,03
h1 par_0,4 L	0,29	0,14	h2 par_0,4 L	0,17	0,06
<b>h_1</b>	<b>0,31</b>	<b>0,15</b>	<b>h_2</b>	<b>0,20</b>	<b>0,07</b>
h1 par_0,6 L	0,33	0,16	h2 par_0,6 L	0,24	0,09
h1 par_0,8 L	0,36	0,18	h2 par_0,8 L	0,32	0,14
h3 par_0,2 L	0,11	0,02	h4 par_0,2 L	0,16	0,03
h3 par_0,4 L	0,21	0,06	h4 par_0,4 L	0,29	0,07
<b>h_3</b>	<b>0,25</b>	<b>0,07</b>	<b>h_4</b>	<b>0,35</b>	<b>0,09</b>
h3 par_0,6 L	0,31	0,10	h4 par_0,6 L	0,41	0,13
h3 par_0,8 L	0,40	0,16	h4 par_0,8 L	0,50	0,20

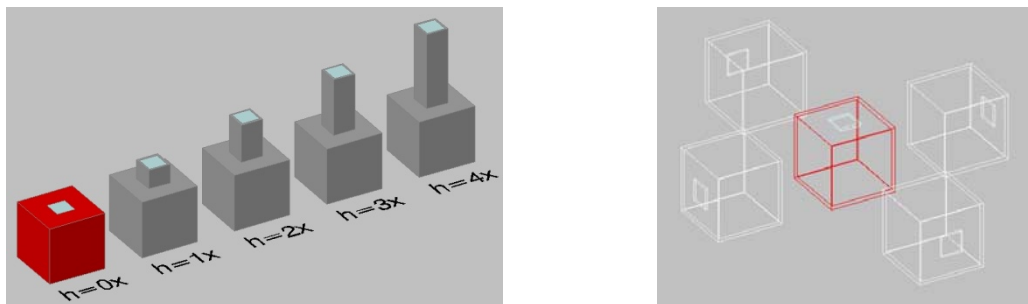
Así mismo, al modificar los coeficientes de reflexión de las paredes de la linterna se mantiene el mismo comportamiento aunque varía cuantitativamente respecto a modificar todas las paredes del espacio.



Como podemos observar, a medida que aumenta la altura de la linterna las curvas isolux se concentran bajo el centro del hueco y adquieren una forma más cuadrada.

### 5.3.1.4 ALTURA DE LINTERNA + ORIENTACIÓN

En esta serie se estudia la influencia de situar el hueco de la linterna en otra orientación.

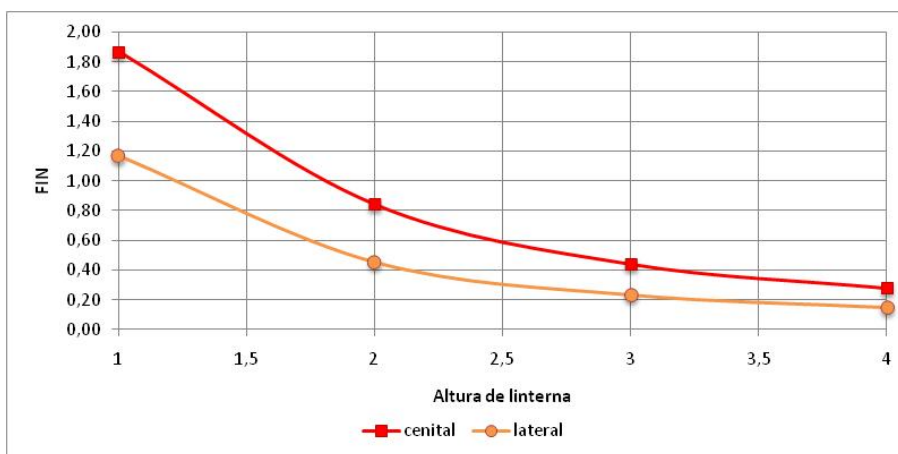


En el programa introducimos el modelo espacial utilizado para estudiar las variaciones de la altura de la linterna y se modifica la ubicación del hueco. Como las linternas son captadoras

de luz y hemos comprobado que el factor de iluminación natural depende de la altitud y no de la orientación, se compara la linterna con el hueco cenital y la linterna con el hueco en la parte superior de la pared norte.

Nombre	Datos obtenidos con Lumen Micro 2000							
	E ext	E int (med)	FIN	FIN*	E int (máx)	FINmx	E int (mín)	FINmn
<b>referencia</b>	18845	884,4	<b>4,69</b>	<b>5,16</b>	1348,9	<b>7,16</b>	484,5	<b>2,57</b>
h_1	18845	320,2	<b>1,70</b>	<b>1,87</b>	672,5	<b>3,57</b>	98,7	<b>0,52</b>
h_2	18845	144,5	<b>0,77</b>	<b>0,84</b>	397,9	<b>2,11</b>	29	<b>0,15</b>
h_3	18845	75,54	<b>0,40</b>	<b>0,44</b>	261,05	<b>1,39</b>	19,24	<b>0,10</b>
h_4	18845	47,83	<b>0,25</b>	<b>0,28</b>	181,54	<b>0,96</b>	16,64	<b>0,09</b>
h_1 LS	18845	199,8	<b>1,06</b>	<b>1,17</b>	470,6	<b>2,50</b>	48,5	<b>0,26</b>
h_2 LS	18845	77,79	<b>0,41</b>	<b>0,45</b>	224,11	<b>1,19</b>	18,48	<b>0,10</b>
h_3 LS	18845	40,17	<b>0,21</b>	<b>0,23</b>	125,03	<b>0,66</b>	13,32	<b>0,07</b>
h_4 LS	18845	25,65	<b>0,14</b>	<b>0,15</b>	62,52	<b>0,33</b>	11,75	<b>0,06</b>

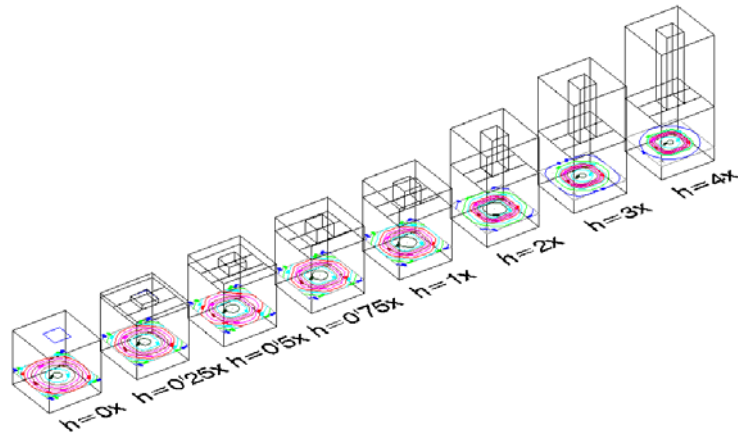
Si representamos el Factor de Iluminación Natural en función de la altura de la linterna:



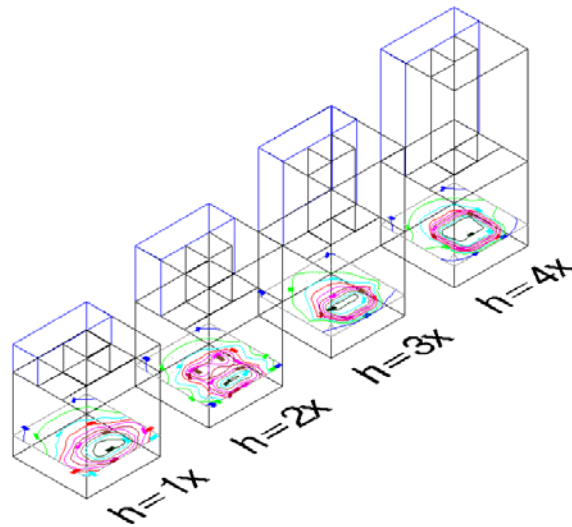
Al efecto de cambiar de orientación, reduciendo notablemente el valor del factor de iluminación natural, se suma el efecto de la altura de la linterna, disminuyendo hasta hacerse nulo, y el efecto de las reflexiones con los paramentos de la misma, asociado al recorrido de la linterna.

Nombre	Uniformidad	
	U med	U extr
<b>referencia</b>	<b>0,55</b>	<b>0,36</b>
h_1	<b>0,31</b>	<b>0,15</b>
h_2	<b>0,20</b>	<b>0,07</b>
h_3	<b>0,25</b>	<b>0,07</b>
h_4	<b>0,35</b>	<b>0,09</b>
h_1 LS	<b>0,24</b>	<b>0,10</b>
h_2 LS	<b>0,24</b>	<b>0,08</b>
h_3 LS	<b>0,33</b>	<b>0,11</b>
h_4 LS	<b>0,46</b>	<b>0,19</b>

El coeficiente de uniformidad medio y el coeficiente de uniformidad extremo disminuyen al aumentar la altura de la linterna, produciendo un efecto focal en la distribución de la luz natural en el plano de trabajo.



Campo luminoso por hueco cenital según altura de linterna (curva isolux)



Campo luminoso por hueco lateral superior en el extremo de la linterna

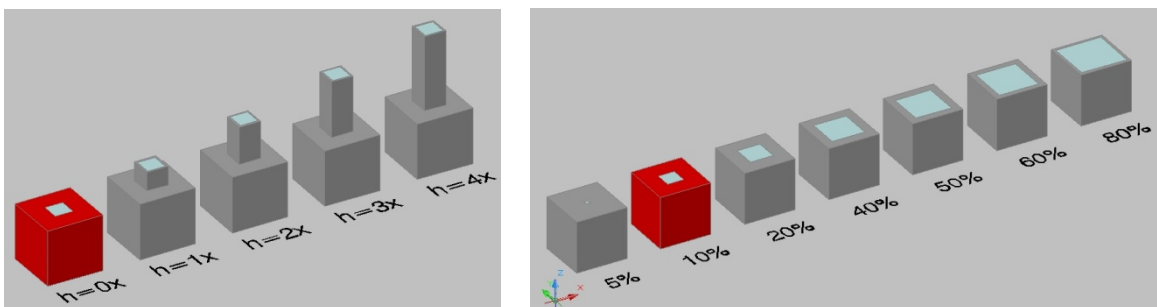
Como podemos observar, a medida que aumenta la altura de la linterna las curvas isolux se concentran bajo el centro del hueco y adquieren una forma más cuadrada.

El cambio de orientación se evidencia en que, al producirse reflexiones en las paredes de la linterna, el campo se distorsiona. Aunque la linterna está centrada, los valores máximos se desplazan hacia el lado opuesto en que se abre el hueco.

El efecto focal que se produce en el hueco cenital, se dispersa. El coeficiente de uniformidad medio y extremo aumenta con la altura de la linterna

### 5.3.1.5 ALTURA DE LINTERNA + SUPERFICIE RELATIVA

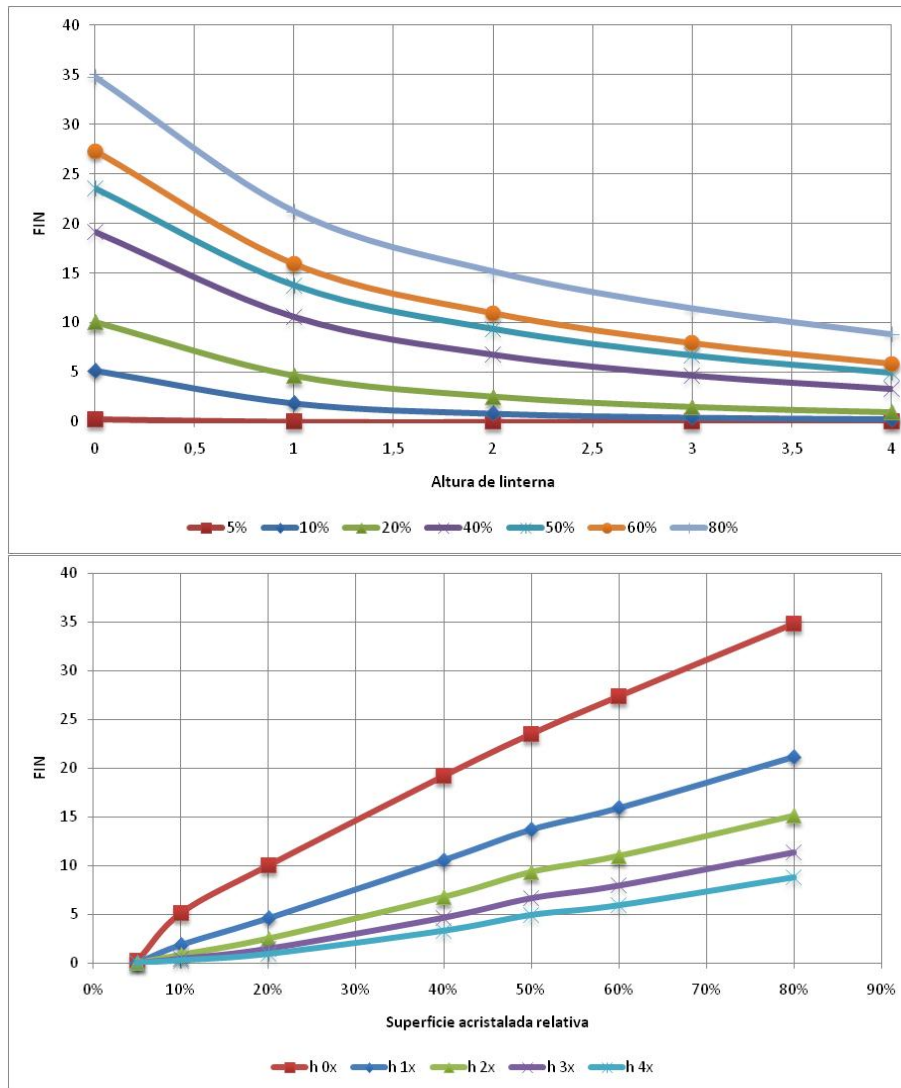
En esta serie de variaciones se analiza la influencia del tamaño relativo en la altura de la linterna y el efecto de ambos factores sobre el espacio interior



En el programa introducimos el modelo espacial utilizado para estudiar las variaciones de la altura de la linterna y se modifica la superficie relativa del hueco, dando los siguientes resultados:

Nombre	Datos obtenidos con Lumen Micro 2000							
	E ext	E int (med)	FIN	FIN*	E int (máx)	FINmx	E int (mín)	FINmn
<b>s_0,5</b>	18845	44,15	<b>0,23</b>	<b>0,26</b>	69,84	<b>0,37</b>	23,59	<b>0,13</b>
h_1 0,5	18845	2,77	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	29,09	<b>0,15</b>	0,64	<b>0,00</b>
h_2 0,5	18845	0,95	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	18,07	<b>0,10</b>	0,35	<b>0,00</b>
h_3 0,5	18845	0,64	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	12,71	<b>0,07</b>	0,14	<b>0,00</b>
h_4 0,5	18845	0,44	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	9,59	<b>0,05</b>	0,11	<b>0,00</b>
<b>referencia</b>	18845	884,4	<b>4,69</b>	<b>5,16</b>	1348,9	<b>7,16</b>	484,5	<b>2,57</b>
h_1	18845	320,2	<b>1,70</b>	<b>1,87</b>	672,5	<b>3,57</b>	98,7	<b>0,52</b>
h_2	18845	144,5	<b>0,77</b>	<b>0,84</b>	397,9	<b>2,11</b>	29	<b>0,15</b>
h_3	18845	75,54	<b>0,40</b>	<b>0,44</b>	261,05	<b>1,39</b>	19,24	<b>0,10</b>
h_4	18845	47,83	<b>0,25</b>	<b>0,28</b>	181,54	<b>0,96</b>	16,64	<b>0,09</b>
<b>S_20</b>	18845	1721	<b>9,13</b>	<b>10,05</b>	2545	<b>13,50</b>	963	<b>5,11</b>
h_1 20	18845	792,1	<b>4,20</b>	<b>4,62</b>	1340	<b>7,11</b>	345,9	<b>1,84</b>
h_2 20	18845	431,5	<b>2,29</b>	<b>2,52</b>	813,5	<b>4,32</b>	144,9	<b>0,77</b>
h_3 20	18845	253,1	<b>1,34</b>	<b>1,48</b>	550,1	<b>2,92</b>	67,3	<b>0,36</b>
h_4 20	18845	160,4	<b>0,85</b>	<b>0,94</b>	393,2	<b>2,09</b>	50,5	<b>0,27</b>
<b>S_40</b>	18845	3289	<b>17,45</b>	<b>19,20</b>	4625	<b>24,54</b>	1925	<b>10,21</b>
h_1 40	18845	1816	<b>9,64</b>	<b>10,60</b>	2656	<b>14,09</b>	849	<b>4,51</b>
h_2 40	18845	1162	<b>6,17</b>	<b>6,78</b>	1706	<b>9,05</b>	506	<b>2,69</b>
h_3 40	18845	800,6	<b>4,25</b>	<b>4,67</b>	1150,4	<b>6,10</b>	329,6	<b>1,75</b>
h_4 40	18845	567,5	<b>3,01</b>	<b>3,31</b>	835,8	<b>4,44</b>	229,1	<b>1,22</b>
<b>S_50</b>	18845	4027	<b>21,37</b>	<b>23,51</b>	5528	<b>29,33</b>	2405	<b>12,76</b>
h_1 50	18845	2353	<b>12,49</b>	<b>13,73</b>	3226	<b>17,12</b>	1327	<b>7,04</b>
h_2 50	18845	1602	<b>8,50</b>	<b>9,35</b>	2133	<b>11,32</b>	904	<b>4,80</b>
h_3 50	18845	1144	<b>6,07</b>	<b>6,68</b>	1450	<b>7,69</b>	647	<b>3,43</b>
h_4 50	18845	844,3	<b>4,48</b>	<b>4,93</b>	1071,4	<b>5,69</b>	482,1	<b>2,56</b>
<b>S_60</b>	18845	4687	<b>24,87</b>	<b>27,36</b>	6335	<b>33,62</b>	2850	<b>15,12</b>
h_1 60	18845	2734	<b>14,51</b>	<b>15,96</b>	3790	<b>20,11</b>	1443	<b>7,66</b>
h_2 60	18845	1885	<b>10,00</b>	<b>11,00</b>	2544	<b>13,50</b>	1007	<b>5,34</b>
h_3 60	18845	1368	<b>7,26</b>	<b>7,99</b>	1754	<b>9,31</b>	743	<b>3,94</b>
h_4 60	18845	1014,3	<b>5,38</b>	<b>5,92</b>	1286	<b>6,82</b>	571,2	<b>3,03</b>
<b>S_80</b>	18845	5962	<b>31,64</b>	<b>34,80</b>	7774	<b>41,25</b>	3769	<b>20,00</b>
h_1 80	18845	3635	<b>19,29</b>	<b>21,22</b>	4864	<b>25,81</b>	2132	<b>11,31</b>
h_2 80	18845	2593	<b>13,76</b>	<b>15,14</b>	3321	<b>17,62</b>	1627	<b>8,63</b>
h_3 80	18845	1953	<b>10,36</b>	<b>11,40</b>	2352	<b>12,48</b>	1297	<b>6,88</b>
h_4 80	18845	1505	<b>7,99</b>	<b>8,78</b>	1765	<b>9,37</b>	1074	<b>5,70</b>

Si se presenta el factor de iluminación natural en función de las dos variables:



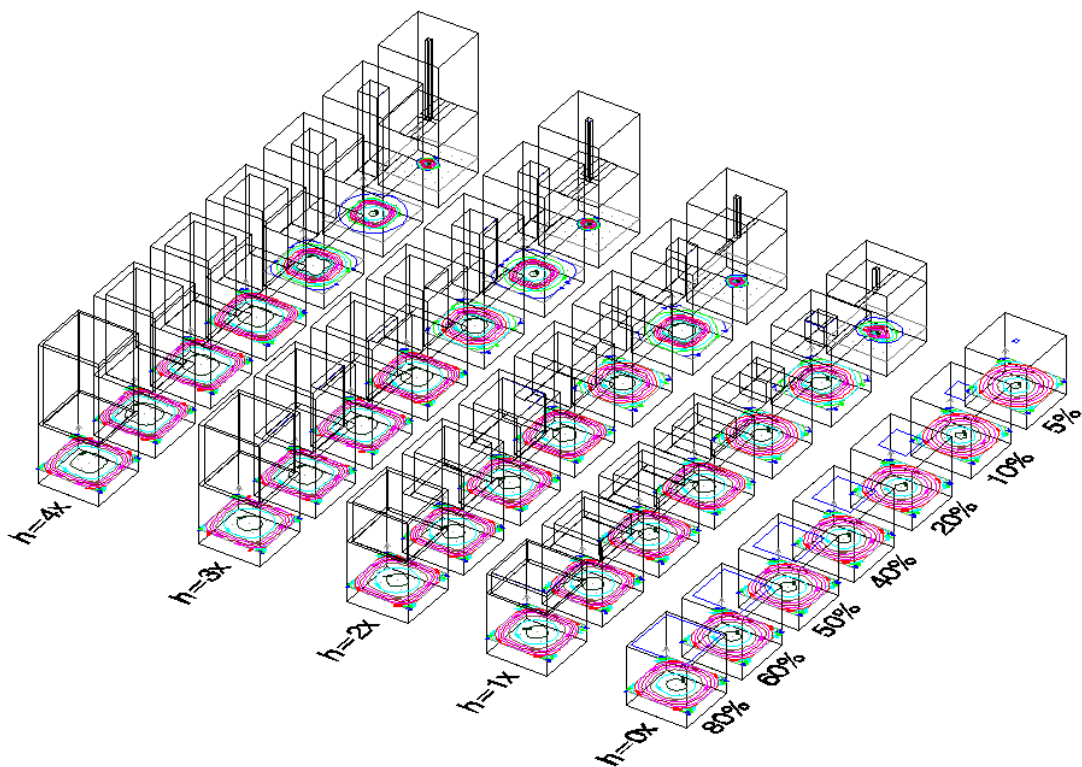
Como podemos observar, las curvas en función de la altura de la linterna siguen el mismo comportamiento estudiado. La diferencia reside en la componente superficie relativa, ya que a mayor superficie mayor nivel de iluminación, como se ha visto con anterioridad. Las curvas en función de la superficie relativa presentan las mismas conclusiones.

Las curvas siguen el comportamiento de la superficie relativa y lo que las diferencia es la componente altura de la linterna; a mayor altura, menor nivel de iluminación y, por tanto, menor factor de iluminación natural.

Nombre	Uniformidad		Nombre	Uniformidad	
	U med	U extr		U med	U extr
<b>s_0,5</b>	<b>0,53</b>	<b>0,34</b>	<b>referencia</b>	<b>0,55</b>	<b>0,36</b>
h_1 0,5	0,23	0,02	h_1	0,31	0,15
h_2 0,5	0,37	0,02	h_2	0,20	0,07
h_3 0,5	0,22	0,01	h_3	0,25	0,07
h_4 0,5	0,25	0,01	h_4	0,35	0,09
<b>S_20</b>	<b>0,56</b>	<b>0,38</b>	<b>S_40</b>	<b>0,59</b>	<b>0,42</b>
h_1 20	0,44	0,26	h_1 40	0,47	0,32
h_2 20	0,34	0,18	h_2 40	0,44	0,30
h_3 20	0,27	0,12	h_3 40	0,41	0,29
h_4 20	0,31	0,13	h_4 40	0,40	0,27

<b>S_50</b>	<b>0,60</b>	<b>0,44</b>	<b>S_60</b>	<b>0,61</b>	<b>0,45</b>
h_1 50	<b>0,56</b>	<b>0,41</b>	h_1 60	<b>0,53</b>	<b>0,38</b>
h_2 50	<b>0,56</b>	<b>0,42</b>	h_2 60	<b>0,53</b>	<b>0,40</b>
h_3 50	<b>0,57</b>	<b>0,45</b>	h_3 60	<b>0,54</b>	<b>0,42</b>
h_4 50	<b>0,57</b>	<b>0,45</b>	h_4 60	<b>0,56</b>	<b>0,44</b>
<b>S_80</b>	<b>0,63</b>	<b>0,48</b>			
h_1 80	<b>0,59</b>	<b>0,44</b>			
h_2 80	<b>0,63</b>	<b>0,49</b>			
h_3 80	<b>0,66</b>	<b>0,55</b>			
h_4 80	<b>0,71</b>	<b>0,61</b>			

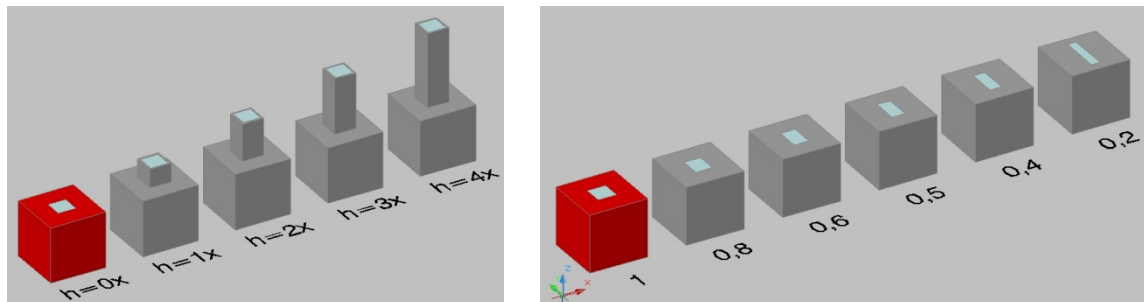
Como podemos observar, a medida que aumenta la altura de la linterna las curvas isolux se concentran bajo el centro del hueco y adquieren una forma más cuadrada. Además, el coeficiente de uniformidad medio y el coeficiente de uniformidad extremo disminuyen al aumentar la altura de la linterna, produciendo un efecto focal en la distribución de la luz natural en el plano de trabajo.



Además, se suma el efecto de aumentar la superficie relativa. Al mantener la orientación y la posición relativa, las características del campo luminoso son similares. Al aumentar la superficie relativa aumenta el coeficiente de uniformidad medio y el coeficiente de uniformidad extremo.

### 5.3.1.6 ALTURA DE LINTERNA + COEFICIENTE DE FORMA

En esta serie de variaciones se evalúa la relación entre la forma del hueco y la altura de la linterna

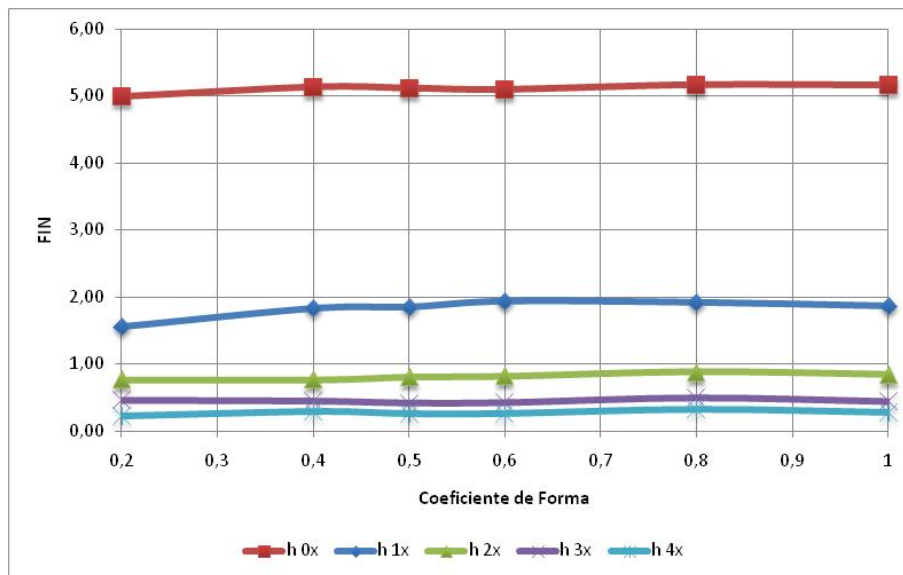


En el programa introducimos el modelo espacial utilizado para estudiar las variaciones de la altura de la linterna y se modifica el coeficiente de forma del hueco, dando los siguientes resultados:

Nombre	Datos obtenidos con Lumen Micro 2000							
	E ext	E int (med)	FIN	FIN*	E int (máx)	FINmx	E int (mín)	FINmn
<b>referencia</b>	18845	884,4	<b>4,69</b>	<b>5,16</b>	1348,9	<b>7,16</b>	484,5	<b>2,57</b>
F_0,8	18845	885,4	<b>4,70</b>	<b>5,17</b>	1347,3	<b>7,15</b>	485,6	<b>2,58</b>
F_0,6	18845	873,1	<b>4,63</b>	<b>5,10</b>	1324,9	<b>7,03</b>	479,7	<b>2,55</b>
F_0,5	18845	876,5	<b>4,65</b>	<b>5,12</b>	1327,2	<b>7,04</b>	482,1	<b>2,56</b>
F_0,4	18845	879,5	<b>4,67</b>	<b>5,13</b>	1324,9	<b>7,03</b>	486,6	<b>2,58</b>
F_0,2	18845	854,4	<b>4,53</b>	<b>4,99</b>	1245,1	<b>6,61</b>	484,6	<b>2,57</b>
<b>h_1</b>	18845	320,2	<b>1,70</b>	<b>1,87</b>	672,5	<b>3,57</b>	98,7	<b>0,52</b>
F_0,8 h1	18845	329,5	<b>1,75</b>	<b>1,92</b>	655,3	<b>3,48</b>	95	<b>0,50</b>
F_0,6 h1	18845	332,4	<b>1,76</b>	<b>1,94</b>	656,7	<b>3,48</b>	129	<b>0,68</b>
F_0,5 h1	18845	317,6	<b>1,69</b>	<b>1,85</b>	657	<b>3,49</b>	64,9	<b>0,34</b>
F_0,4 h1	18845	313,8	<b>1,67</b>	<b>1,83</b>	649,6	<b>3,45</b>	64	<b>0,34</b>
F_0,2 h1	18845	266,7	<b>1,42</b>	<b>1,56</b>	619,1	<b>3,29</b>	43,5	<b>0,23</b>
<b>h_2</b>	18845	144,5	<b>0,77</b>	<b>0,84</b>	397,9	<b>2,11</b>	29	<b>0,15</b>
F_0,8 h2	18845	150,8	<b>0,80</b>	<b>0,88</b>	388	<b>2,06</b>	26,3	<b>0,14</b>
F_0,6 h2	18845	139,7	<b>0,74</b>	<b>0,82</b>	380	<b>2,02</b>	26,1	<b>0,14</b>
F_0,5 h2	18845	137,8	<b>0,73</b>	<b>0,80</b>	378,7	<b>2,01</b>	23,7	<b>0,13</b>
F_0,4 h2	18845	130,7	<b>0,69</b>	<b>0,76</b>	381,7	<b>2,03</b>	22,8	<b>0,12</b>
F_0,2 h2	18845	130,8	<b>0,69</b>	<b>0,76</b>	360,1	<b>1,91</b>	20,6	<b>0,11</b>
<b>h_3</b>	18845	75,54	<b>0,40</b>	<b>0,44</b>	261,05	<b>1,39</b>	19,24	<b>0,10</b>
F_0,8 h3	18845	85,42	<b>0,45</b>	<b>0,50</b>	253,35	<b>1,34</b>	17,23	<b>0,09</b>
F_0,6 h3	18845	72,73	<b>0,39</b>	<b>0,42</b>	251,98	<b>1,34</b>	18,88	<b>0,10</b>
F_0,5 h3	18845	71,75	<b>0,38</b>	<b>0,42</b>	254,84	<b>1,35</b>	18,07	<b>0,10</b>
F_0,4 h3	18845	76,68	<b>0,41</b>	<b>0,45</b>	254,16	<b>1,35</b>	17,05	<b>0,09</b>
F_0,2 h3	18845	79,04	<b>0,42</b>	<b>0,46</b>	234,37	<b>1,24</b>	15,49	<b>0,08</b>
<b>h_4</b>	18845	47,83	<b>0,25</b>	<b>0,28</b>	181,54	<b>0,96</b>	16,64	<b>0,09</b>
F_0,8 h4	18845	55,23	<b>0,29</b>	<b>0,32</b>	179,5	<b>0,95</b>	15,22	<b>0,08</b>
F_0,6 h4	18845	45,33	<b>0,24</b>	<b>0,26</b>	180,1	<b>0,96</b>	15,38	<b>0,08</b>
F_0,5 h4	18845	44,93	<b>0,24</b>	<b>0,26</b>	179,22	<b>0,95</b>	15,19	<b>0,08</b>
F_0,4 h4	18845	50,07	<b>0,27</b>	<b>0,29</b>	174,14	<b>0,92</b>	15,85	<b>0,08</b>
F_0,2 h4	18845	38,98	<b>0,21</b>	<b>0,23</b>	169,58	<b>0,90</b>	14,68	<b>0,08</b>

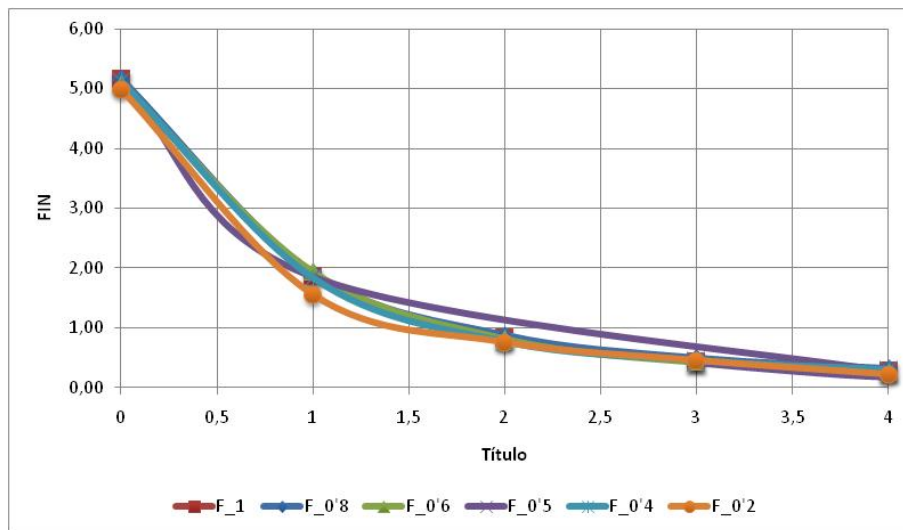


Si presentamos el Factor de Iluminación en función del coeficiente de forma del hueco:



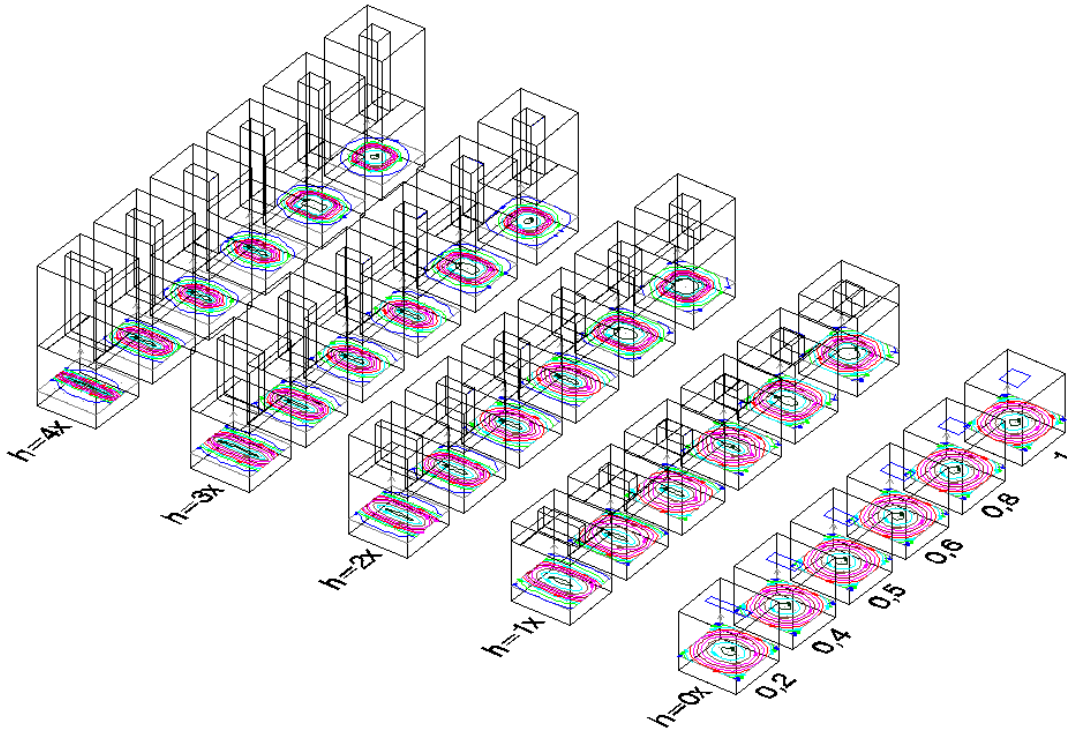
Las curvas siguen el mismo comportamiento estudiado para la variable coeficiente de forma aunque los valores disminuyen exponencialmente de una curva a otra, debido al efecto de la altura de la linterna. Parece que el coeficiente de forma sólo tiene relevancia cuando la altura de la linterna es del orden de la superficie del hueco, ya que, para la curva h1x se aprecian algunas diferencias respecto a las demás curvas.

Si presentamos el factor de iluminación natural en función de la altura de la linterna obtenemos las mismas conclusiones:



Nombre	Uniformidad		Nombre	Uniformidad	
	U med	U extr		U med	U extr
<b>referencia</b>	<b>0,55</b>	<b>0,36</b>	<b>h_1</b>	<b>0,31</b>	<b>0,15</b>
F_0,8	0,55	0,36	F_0,8 h1	0,29	0,14
F_0,6	0,55	0,36	F_0,6 h1	0,39	0,20
F_0,5	0,55	0,36	F_0,5 h1	0,20	0,10
F_0,4	0,55	0,37	F_0,4 h1	0,20	0,10
F_0,2	0,57	0,39	F_0,2 h1	0,16	0,07
<b>h_2</b>	<b>0,20</b>	<b>0,07</b>	<b>h_3</b>	<b>0,25</b>	<b>0,07</b>
F_0,8 h2	0,17	0,07	F_0,8 h3	0,20	0,07

F_0,6 h2	<b>0,19</b>	<b>0,07</b>	F_0,6 h3	<b>0,26</b>	<b>0,07</b>
F_0,5 h2	<b>0,17</b>	<b>0,06</b>	F_0,5 h3	<b>0,25</b>	<b>0,07</b>
F_0,4 h2	<b>0,17</b>	<b>0,06</b>	F_0,4 h3	<b>0,22</b>	<b>0,07</b>
F_0,2 h2	<b>0,16</b>	<b>0,06</b>	F_0,2 h3	<b>0,20</b>	<b>0,07</b>
<b>h_4</b>	<b>0,35</b>	<b>0,09</b>			
F_0,8 h4	<b>0,28</b>	<b>0,08</b>			
F_0,6 h4	<b>0,34</b>	<b>0,09</b>			
F_0,5 h4	<b>0,34</b>	<b>0,08</b>			
F_0,4 h4	<b>0,32</b>	<b>0,09</b>			
F_0,2 h4	<b>0,38</b>	<b>0,09</b>			



Campo luminoso en función de la altura de la linterna y del coeficiente de forma (curvas isolux)

Como podemos observar, a medida que aumenta la altura de la linterna las curvas isolux se concentran bajo el centro del hueco y adquieren una forma más cuadrada. Además, el coeficiente de uniformidad medio y el coeficiente de uniformidad extremo disminuyen al aumentar la altura de la linterna, produciendo un efecto focal en la distribución de la luz natural en el plano de trabajo.

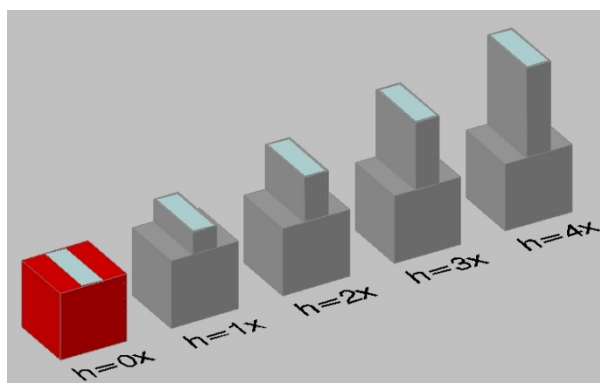
Tal como hemos visto, al mantener la orientación y la posición relativa del hueco, el campo luminoso en todos los casos presenta aproximadamente las mismas características. La altura de la linterna amplifica la deformación de las curvas isolux.

### 5.3.2 Linterna de lado a lado

Hemos visto que la presencia de una linterna en el espacio focaliza la luz bajo el hueco de la misma. A continuación se estudia la linterna y sus variaciones cuando ésta recorre toda la longitud del espacio, de forma que los límites del espacio forman parte de los límites de la linterna.

En este caso el hueco mide 1x3 m, representa el 33% de la superficie del suelo, se ubica en el techo y tiene una posición central. Al ocupar toda la longitud del espacio podemos estudiar el comportamiento de la linterna sólo en una dirección, obviando el comportamiento según la dirección perpendicular. Se puede decir que el espacio se reduce a una sección.

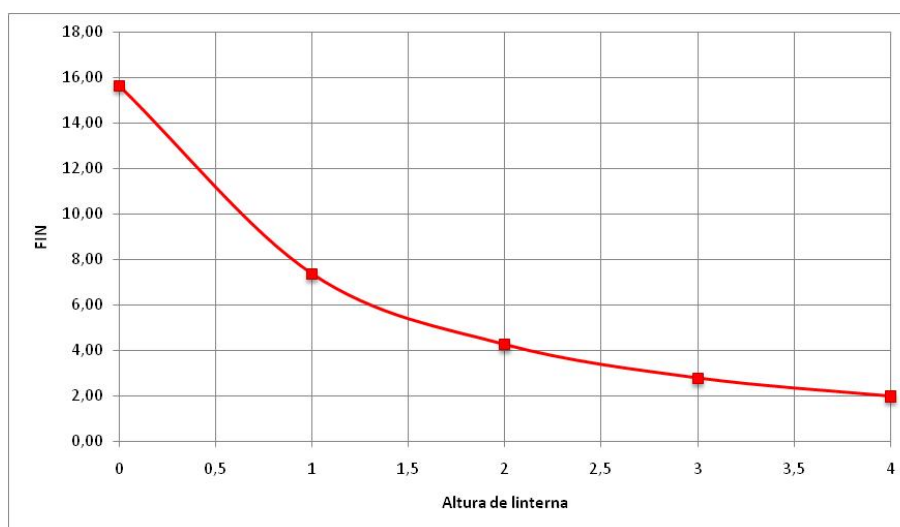
5.3.2.1 ALTURA DE LA LINTERNA



El objetivo es determinar la influencia que tiene la profundidad de la linterna, puesta en relación con la dimensión X del hueco. Por defecto las paredes interiores de la linterna tienen un coeficiente de reflexión medio (0.5)

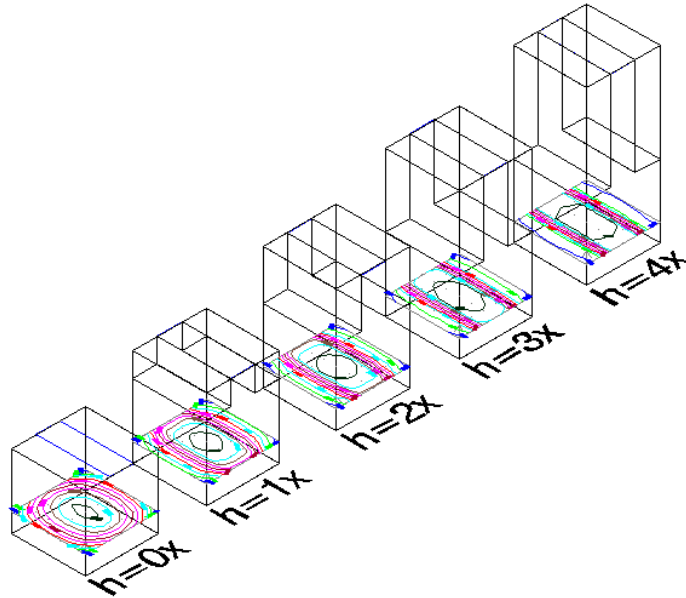
Nombre	Datos obtenidos con Lumen Micro 2000							
	E ext	E int (med)	FIN	FIN*	E int (máx)	FINmx	E int (mín)	FINmn
<b>N-S 1-0</b>	<b>18845</b>	<b>2680</b>	<b>14,22</b>	<b>15,64</b>	<b>3692</b>	<b>19,59</b>	<b>1600</b>	<b>8,49</b>
N-S 1-1	18845	1263	<b>6,70</b>	<b>7,37</b>	2060	<b>10,93</b>	538	<b>2,85</b>
N-S 1-2	18845	730,3	<b>3,88</b>	<b>4,26</b>	1318,1	<b>6,99</b>	211,5	<b>1,12</b>
N-S 1-3	18845	477,9	<b>2,54</b>	<b>2,79</b>	892,4	<b>4,74</b>	110,4	<b>0,59</b>
N-S 1-4	18845	340,6	<b>1,81</b>	<b>1,99</b>	642	<b>3,41</b>	93,1	<b>0,49</b>

Si presentamos el factor de iluminación natural en función de la altura de la linterna:



Al aumentar la superficie relativa respecto a la linterna de referencia aumenta el factor de iluminación natural obtenido para cada altura de linterna, pero, tal como vimos anteriormente, a medida que aumenta la altura de la linterna la cantidad de luz exterior que entra en el espacio disminuye exponencialmente.

Nombre	Uniformidad	
	U med	U extr
<b>N-S 1-0</b>	<b>0,60</b>	<b>0,43</b>
N-S 1-1	<b>0,43</b>	<b>0,26</b>
N-S 1-2	<b>0,29</b>	<b>0,16</b>
N-S 1-3	<b>0,23</b>	<b>0,12</b>
N-S 1-4	<b>0,27</b>	<b>0,15</b>

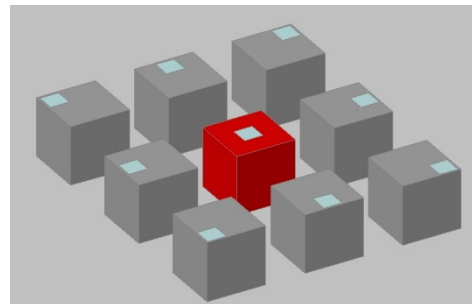
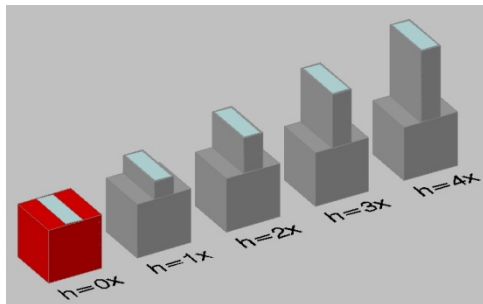


Campo luminoso según la altura de la linterna (curvas isolux)

Como podemos observar, a medida que aumenta la altura de la linterna las curvas isolux se concentran bajo el centro del hueco y adquieren una forma más rectangular, hasta tomar la forma del hueco de la linterna. Además, el coeficiente de uniformidad medio y el coeficiente de uniformidad extremo disminuyen al aumentar la altura de la linterna, produciendo un efecto focal en la distribución de la luz natural en el plano de trabajo.

**5.3.2.2 ALTURA DE LINTERNA + POSICIÓN RELATIVA**

En esta serie de variaciones se intenta relacionar el efecto de la altura de la linterna con la posición que ocupa dentro del paramento. Como la linterna ocupa toda la longitud sólo se podrá desplazar a los lados del modelo espacial.

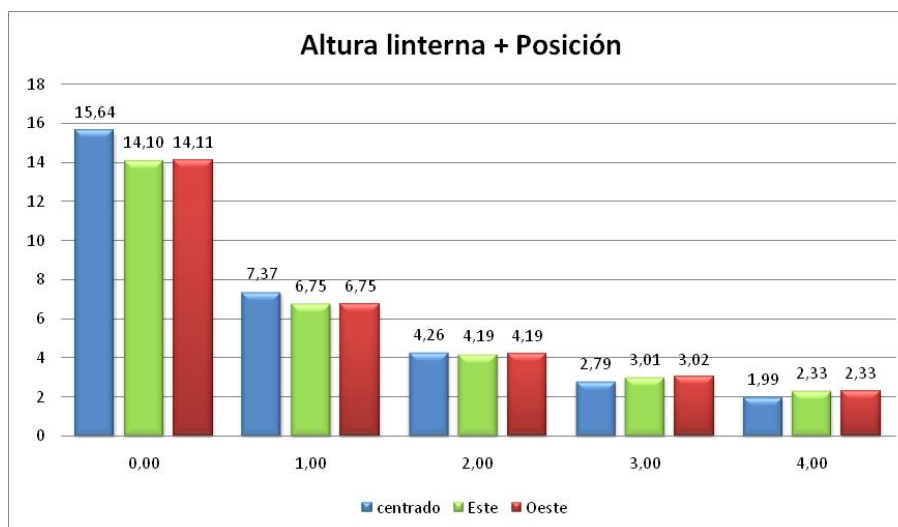


En el programa introducimos el modelo espacial utilizado para estudiar las variaciones de la altura de la linterna y se modifica la posición relativa del hueco, dando los siguientes resultados:

Nombre	Datos obtenidos con Lumen Micro 2000							
	E ext	E int (med)	FIN	FIN*	E int (máx)	FINmx	E int (mín)	FINmn
<b>N-S 1-0</b>	<b>18845</b>	<b>2680</b>	<b>14,22</b>	<b>15,64</b>	<b>3692</b>	<b>19,59</b>	<b>1600</b>	<b>8,49</b>
N-S 1-1	18845	1263	<b>6,70</b>	<b>7,37</b>	2060	<b>10,93</b>	538	<b>2,85</b>
N-S 1-2	18845	730,3	<b>3,88</b>	<b>4,26</b>	1318,1	<b>6,99</b>	211,5	<b>1,12</b>
N-S 1-3	18845	477,9	<b>2,54</b>	<b>2,79</b>	892,4	<b>4,74</b>	110,4	<b>0,59</b>
N-S 1-4	18845	340,6	<b>1,81</b>	<b>1,99</b>	642	<b>3,41</b>	93,1	<b>0,49</b>
<b>N-S 1-0 E</b>	<b>18845</b>	<b>2416</b>	<b>12,82</b>	<b>14,10</b>	<b>3824</b>	<b>20,29</b>	<b>1002</b>	<b>5,32</b>
N-S 1-1 E	18845	1156	<b>6,13</b>	<b>6,75</b>	2143	<b>11,37</b>	271	<b>1,44</b>
N-S 1-2 E	18845	718,3	<b>3,81</b>	<b>4,19</b>	1419,4	<b>7,53</b>	113,5	<b>0,60</b>
N-S 1-3 E	18845	516,3	<b>2,74</b>	<b>3,01</b>	1009,6	<b>5,36</b>	106,8	<b>0,57</b>
N-S 1-4 E	18845	398,6	<b>2,12</b>	<b>2,33</b>	798,7	<b>4,24</b>	115,8	<b>0,61</b>

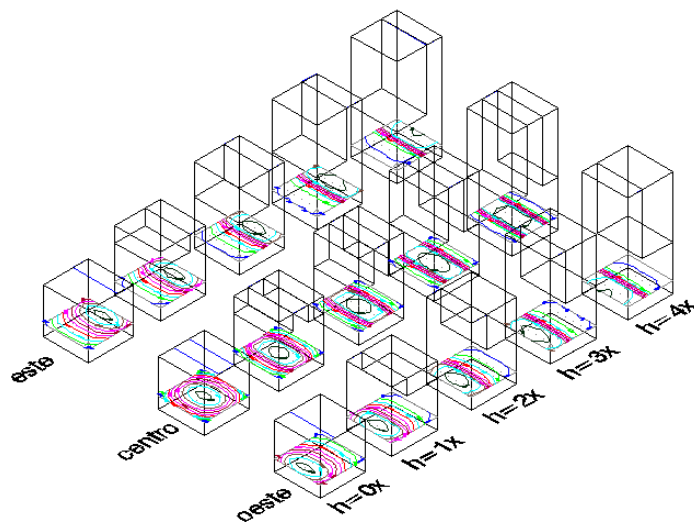
N-S 1-0 O	18845	2417	12,83	14,11	3825	20,30	1002	5,32
N-S 1-1 O	18845	1156	6,13	6,75	2144	11,38	271	1,44
N-S 1-2 O	18845	718,6	3,81	4,19	1419,7	7,53	113,6	0,60
N-S 1-3 O	18845	517,2	2,74	3,02	1010,5	5,36	107,6	0,57
N-S 1-4 O	18845	398,7	2,12	2,33	798,8	4,24	116,1	0,62

Si presentamos el factor de iluminación natural en función de la altura de la linterna:



Como podemos apreciar los valores obtenidos para las posiciones laterales son idénticos. Ya hemos visto en variaciones anteriores que el factor de iluminación natural no depende de la orientación sino de la altitud del hueco. Ambas posiciones tienen las mismas características, por lo que es lógico que los datos que ofrezcan sean iguales.

Podemos observar que a medida que aumentamos la altura de la linterna se dejan de apreciar las diferencias cuantitativas de la posición de la linterna y que, a partir de una altura de 2x el factor de iluminación natural es mayor que para la linterna centrada, posiblemente debido a la incidencia de la reflexión de las paredes.



Campo luminoso en función de la altura de la linterna y la posición relativa

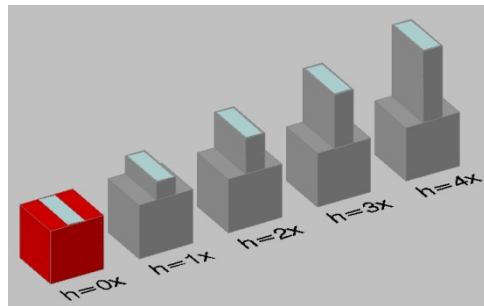
Como podemos observar, a medida que aumenta la altura de la linterna las curvas isolux se concentran bajo el centro del hueco y adquieren una forma más rectangular, hasta tomar la forma del hueco de la linterna. Además, el coeficiente de uniformidad medio y el coeficiente de uniformidad extremo disminuyen al aumentar la altura de la linterna, produciendo un efecto focal en la distribución de la luz natural en el plano de trabajo.

Nombre	Uniformidad		Nombre	Uniformidad		Nombre	Uniformidad	
	U med	U extr		U med	U extr		U med	U extr
<b>N-S 1-0</b>	<b>0,60</b>	<b>0,43</b>	<b>N-S 1-0 E</b>	<b>0,41</b>	<b>0,26</b>	<b>N-S 1-0 O</b>	<b>0,41</b>	<b>0,26</b>
N-S 1-1	0,43	0,26	N-S 1-1 E	0,23	0,13	N-S 1-1 O	0,23	0,13
N-S 1-2	0,29	0,16	N-S 1-2 E	0,16	0,08	N-S 1-2 O	0,16	0,08
N-S 1-3	0,23	0,12	N-S 1-3 E	0,21	0,11	N-S 1-3 O	0,21	0,11
N-S 1-4	0,27	0,15	N-S 1-4 E	0,29	0,14	N-S 1-4 O	0,29	0,15

Las dos posiciones laterales ofrecen idénticos campos luminosos, algo que ya sabíamos puesto que, respecto al cenit, ambas situaciones son simétricas. El coeficiente de uniformidad para la situación lateral en un principio disminuye, pero a partir de una altura de 3x se incrementa. Este comportamiento posiblemente tiene que ver con las reflexiones que se producen en la pared de la linterna y al derrame de la luz en las paredes del espacio. El coeficiente de uniformidad extremo presenta el mismo comportamiento.

### 5.3.2.3 ALTURA DE LINTERNA + REFLEXIÓN

En esta serie de variaciones veremos la influencia de cambiar el coeficiente de reflexión de las paredes del espacio, incluidas las paredes de la linterna. El efecto del suelo y del techo ya se considera estudiado en las variaciones anteriores.

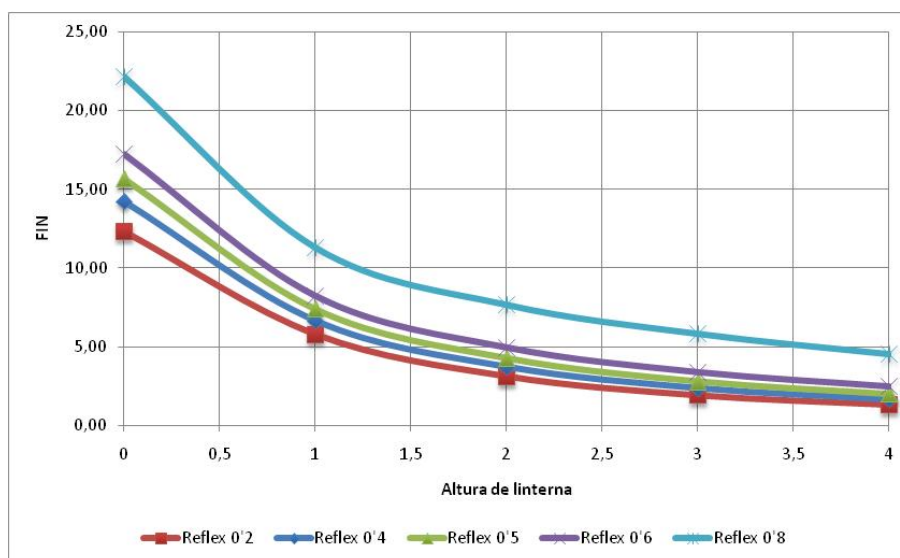


En el programa introducimos el modelo espacial utilizado para estudiar las variaciones de la altura de la linterna y se modifican los coeficientes de reflexión. Cambiamos el coeficiente de reflexión de todo el espacio, por lo que la reflexión interna de la linterna cambia con la reflexión de las paredes.

Nombre	Datos obtenidos con Lumen Micro 2000							
	E ext	E int (med)	FIN	FIN*	E int (máx)	FINmx	E int (mín)	FINmn
<b>N-S 1-0 0,2</b>	<b>18845</b>	<b>2109</b>	<b>11,19</b>	<b>12,31</b>	<b>3162</b>	<b>16,78</b>	<b>1177</b>	<b>6,25</b>
N-S 1-1 0,2	18845	992,8	5,27	5,80	1696	9,00	406	2,15
N-S 1-2 0,2	18845	536,4	2,85	3,13	1059,7	5,62	101,8	0,54
N-S 1-3 0,2	18845	329,5	1,75	1,92	716,9	3,80	20	0,11
N-S 1-4 0,2	18845	227	1,20	1,33	512,3	2,72	13,1	0,07
<b>N-S 1-0 0,4</b>	<b>18845</b>	<b>2437</b>	<b>12,93</b>	<b>14,22</b>	<b>3470</b>	<b>18,41</b>	<b>1416</b>	<b>7,51</b>
N-S 1-1 0,4	18845	1140	6,05	6,65	1881	9,98	481	2,55
N-S 1-2 0,4	18845	638,9	3,39	3,73	1193,4	6,33	161,7	0,86
N-S 1-3 0,4	18845	406,4	2,16	2,37	805,8	4,28	66,2	0,35
N-S 1-4 0,4	18845	282,8	1,50	1,65	571,6	3,03	52,1	0,28
<b>N-S 1-0</b>	<b>18845</b>	<b>2680</b>	<b>14,22</b>	<b>15,64</b>	<b>3692</b>	<b>19,59</b>	<b>1600</b>	<b>8,49</b>
N-S 1-1	18845	1263	6,70	7,37	2060	10,93	538	2,85
N-S 1-2	18845	730,3	3,88	4,26	1318,1	6,99	211,5	1,12
N-S 1-3	18845	477,9	2,54	2,79	892,4	4,74	110,4	0,59
N-S 1-4	18845	340,6	1,81	1,99	642	3,41	93,1	0,49
<b>N-S 1-0 0,6</b>	<b>18845</b>	<b>2948</b>	<b>15,64</b>	<b>17,21</b>	<b>3935</b>	<b>20,88</b>	<b>1809</b>	<b>9,60</b>
N-S 1-1 0,6	18845	1411	7,49	8,24	2249	11,93	612	3,25
N-S 1-2 0,6	18845	851,2	4,52	4,97	1473,3	7,82	280,7	1,49

N-S 1-3 0,6	18845	583,5	<b>3,10</b>	<b>3,41</b>	1025,9	<b>5,44</b>	176,2	<b>0,93</b>
N-S 1-4 0,6	18845	427,5	<b>2,27</b>	<b>2,50</b>	746,1	<b>3,96</b>	156,8	<b>0,83</b>
<b>N-S 1-0 0,8</b>	<b>18845</b>	<b>3792</b>	<b>20,12</b>	<b>22,13</b>	<b>4684</b>	<b>24,86</b>	<b>2483</b>	<b>13,18</b>
N-S 1-1 0,8	18845	1936	<b>10,27</b>	<b>11,30</b>	2911	<b>15,45</b>	867	<b>4,60</b>
N-S 1-2 0,8	18845	1314	<b>6,97</b>	<b>7,67</b>	2062	<b>10,94</b>	539	<b>2,86</b>
N-S 1-3 0,8	18845	999,4	<b>5,30</b>	<b>5,83</b>	1499,4	<b>7,96</b>	446,4	<b>2,37</b>
N-S 1-4 0,8	18845	778,9	<b>4,13</b>	<b>4,55</b>	1131,5	<b>6,00</b>	434,6	<b>2,31</b>

Si presentamos la relación entre el Factor de Iluminación Natural según la altura de la linterna:



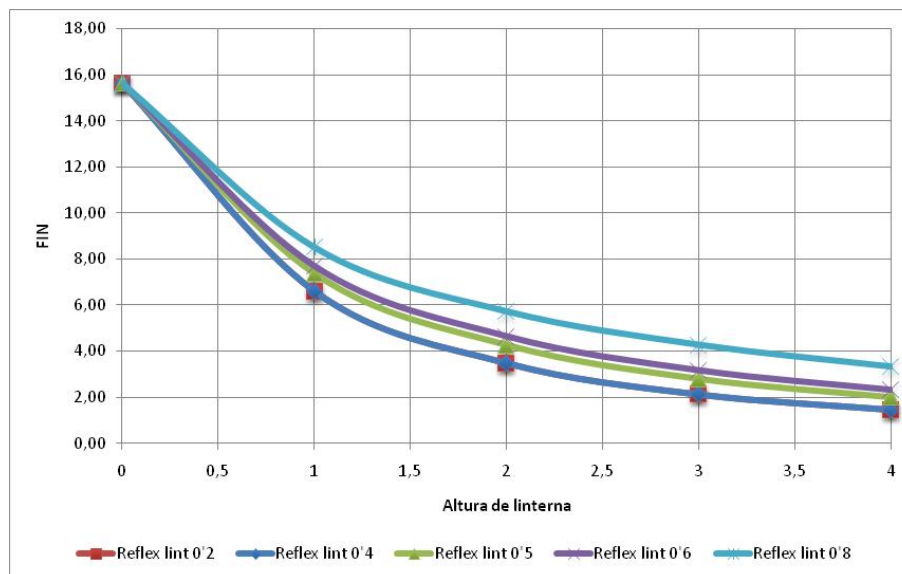
Las curvas siguen el mismo comportamiento y se diferencian cuantitativamente, esto se debe a la influencia de la reflexión en las paredes de la linterna. Se puede apreciar que, para un coeficiente de reflexión de 0'8, se produce un salto respecto a la curva anterior. Con un coeficiente de reflexión de 0'8 se obtiene un mayor factor de iluminación natural con una linterna de altura 4x, que con una linterna de altura 2x con un coeficiente de reflexión de 0'5. En los conductos de luz, como las linternas, la reflexión en sus paredes es de gran importancia.

Si estudiamos el efecto que tiene variar únicamente el coeficiente de reflexión de las paredes de la linterna:

Nombre	Datos obtenidos con Lumen Micro 2000							
	E ext	E int (med)	FIN	FIN*	E int (máx)	FINmx	E int (mín)	FINmn
<b>N-S 1-0 0,2 L</b>	<b>18845</b>	<b>2680</b>	<b>14,22</b>	<b>15,64</b>	<b>3692</b>	<b>19,59</b>	<b>1600</b>	<b>8,49</b>
N-S 1-1 0,2 L	18845	1133	<b>6,01</b>	<b>6,61</b>	1882	<b>9,99</b>	462	<b>2,45</b>
N-S 1-2 0,2 L	18845	596,4	<b>3,16</b>	<b>3,48</b>	1132,4	<b>6,01</b>	128	<b>0,68</b>
N-S 1-3 0,2 L	18845	363,7	<b>1,93</b>	<b>2,12</b>	740,1	<b>3,93</b>	40,8	<b>0,22</b>
N-S 1-4 0,2 L	18845	249,2	<b>1,32</b>	<b>1,45</b>	526,7	<b>2,79</b>	32,2	<b>0,17</b>
<b>N-S 1-0 0,4 L</b>	<b>18845</b>	<b>2680</b>	<b>14,22</b>	<b>15,64</b>	<b>3692</b>	<b>19,59</b>	<b>1600</b>	<b>8,49</b>
N-S 1-1 0,4 L	18845	1214	<b>6,44</b>	<b>7,09</b>	1984	<b>10,53</b>	509	<b>2,70</b>
N-S 1-2 0,4 L	18845	676	<b>3,59</b>	<b>3,95</b>	1231,2	<b>6,53</b>	178	<b>0,94</b>
N-S 1-3 0,4 L	18845	431	<b>2,29</b>	<b>2,52</b>	834,6	<b>4,43</b>	80,8	<b>0,43</b>
N-S 1-4 0,4 L	18845	302,4	<b>1,60</b>	<b>1,77</b>	596,1	<b>3,16</b>	66,4	<b>0,35</b>
<b>N-S 1-0</b>	<b>18845</b>	<b>2680</b>	<b>14,22</b>	<b>15,64</b>	<b>3692</b>	<b>19,59</b>	<b>1600</b>	<b>8,49</b>
N-S 1-1	18845	1263	<b>6,70</b>	<b>7,37</b>	2060	<b>10,93</b>	538	<b>2,85</b>
N-S 1-2	18845	730,3	<b>3,88</b>	<b>4,26</b>	1318,1	<b>6,99</b>	211,5	<b>1,12</b>
N-S 1-3	18845	477,9	<b>2,54</b>	<b>2,79</b>	892,4	<b>4,74</b>	110,4	<b>0,59</b>
N-S 1-4	18845	340,6	<b>1,81</b>	<b>1,99</b>	642	<b>3,41</b>	93,1	<b>0,49</b>

<b>N-S 1-0 0,6 L</b>	<b>18845</b>	<b>2680</b>	<b>14,22</b>	<b>15,64</b>	<b>3692</b>	<b>19,59</b>	<b>1600</b>	<b>8,49</b>
N-S 1-1 0,6 L	18845	1319	<b>7,00</b>	<b>7,70</b>	2136	<b>11,33</b>	571	<b>3,03</b>
N-S 1-2 0,6 L	18845	795,5	<b>4,22</b>	<b>4,64</b>	1404	<b>7,45</b>	254	<b>1,35</b>
N-S 1-3 0,6 L	18845	542	<b>2,88</b>	<b>3,16</b>	984,5	<b>5,22</b>	150,3	<b>0,80</b>
N-S 1-4 0,6 L	18845	396,3	<b>2,10</b>	<b>2,31</b>	716,8	<b>3,80</b>	130,3	<b>0,69</b>
<b>N-S 1-0 0,8 L</b>	<b>18845</b>	<b>2680</b>	<b>14,22</b>	<b>15,64</b>	<b>3692</b>	<b>19,59</b>	<b>1600</b>	<b>8,49</b>
N-S 1-1 0,8 L	18845	1458	<b>7,74</b>	<b>8,51</b>	2324	<b>12,33</b>	654	<b>3,47</b>
N-S 1-2 0,8 L	18845	981,4	<b>5,21</b>	<b>5,73</b>	1650,4	<b>8,76</b>	375,2	<b>1,99</b>
N-S 1-3 0,8 L	18845	732,9	<b>3,89</b>	<b>4,28</b>	1233,7	<b>6,55</b>	275,8	<b>1,46</b>
N-S 1-4 0,8 L	18845	570,1	<b>3,03</b>	<b>3,33</b>	934,5	<b>4,96</b>	253,7	<b>1,35</b>

Si representamos el factor de iluminación natural en función de la altura de la linterna:



Podemos ver que apenas hay diferencia entre una linterna con un coeficiente de 0,2 y 0,4, sin embargo para los demás coeficientes se aprecian las diferencias, destacándose la curva con el coeficiente de reflexión 0,8 de las demás. Parece que las diferencias cuantitativas observadas se mantienen para las diferentes alturas de la linterna.

Nombre	Uniformidad		Nombre	Uniformidad		Nombre	Uniformidad	
	U med	U extr		U med	U extr		U med	U extr
<b>N-S 1-0 0,2</b>	<b>0,56</b>	<b>0,37</b>	<b>N-S 1-0 0,4</b>	<b>0,58</b>	<b>0,41</b>	<b>N-S 1-0</b>	<b>0,60</b>	<b>0,43</b>
N-S 1-1 0,2	<b>0,41</b>	<b>0,24</b>	N-S 1-1 0,4	<b>0,42</b>	<b>0,26</b>	N-S 1-1	<b>0,43</b>	<b>0,26</b>
N-S 1-2 0,2	<b>0,19</b>	<b>0,10</b>	N-S 1-2 0,4	<b>0,25</b>	<b>0,14</b>	N-S 1-2	<b>0,29</b>	<b>0,16</b>
N-S 1-3 0,2	<b>0,06</b>	<b>0,03</b>	N-S 1-3 0,4	<b>0,16</b>	<b>0,08</b>	N-S 1-3	<b>0,23</b>	<b>0,12</b>
N-S 1-4 0,2	<b>0,06</b>	<b>0,03</b>	N-S 1-4 0,4	<b>0,18</b>	<b>0,09</b>	N-S 1-4	<b>0,27</b>	<b>0,15</b>
<b>N-S 1-0 0,2</b>	<b>0,56</b>	<b>0,37</b>	<b>N-S 1-0 0,8</b>	<b>0,65</b>	<b>0,53</b>			
N-S 1-1 0,2	<b>0,41</b>	<b>0,24</b>	N-S 1-1 0,8	<b>0,45</b>	<b>0,30</b>			
N-S 1-2 0,2	<b>0,19</b>	<b>0,10</b>	N-S 1-2 0,8	<b>0,41</b>	<b>0,26</b>			
N-S 1-3 0,2	<b>0,06</b>	<b>0,03</b>	N-S 1-3 0,8	<b>0,45</b>	<b>0,30</b>			
N-S 1-4 0,2	<b>0,06</b>	<b>0,03</b>	N-S 1-4 0,8	<b>0,56</b>	<b>0,38</b>			
<b>N-S 1-0 0,2 L</b>	<b>0,60</b>	<b>0,43</b>	<b>N-S 1-0 0,4 L</b>	<b>0,60</b>	<b>0,43</b>	<b>N-S 1-0</b>	<b>0,60</b>	<b>0,43</b>
N-S 1-1 0,2 L	<b>0,41</b>	<b>0,25</b>	N-S 1-1 0,4 L	<b>0,42</b>	<b>0,26</b>	N-S 1-1	<b>0,43</b>	<b>0,26</b>
N-S 1-2 0,2 L	<b>0,21</b>	<b>0,11</b>	N-S 1-2 0,4 L	<b>0,26</b>	<b>0,14</b>	N-S 1-2	<b>0,29</b>	<b>0,16</b>
N-S 1-3 0,2 L	<b>0,11</b>	<b>0,06</b>	N-S 1-3 0,4 L	<b>0,19</b>	<b>0,10</b>	N-S 1-3	<b>0,23</b>	<b>0,12</b>
N-S 1-4 0,2 L	<b>0,13</b>	<b>0,06</b>	N-S 1-4 0,4 L	<b>0,22</b>	<b>0,11</b>	N-S 1-4	<b>0,27</b>	<b>0,15</b>
<b>N-S 1-0 0,6 L</b>	<b>0,60</b>	<b>0,43</b>	<b>N-S 1-0 0,8 L</b>	<b>0,60</b>	<b>0,43</b>			
N-S 1-1 0,6 L	<b>0,43</b>	<b>0,27</b>	N-S 1-1 0,8 L	<b>0,45</b>	<b>0,28</b>			
N-S 1-2 0,6 L	<b>0,32</b>	<b>0,18</b>	N-S 1-2 0,8 L	<b>0,38</b>	<b>0,23</b>			

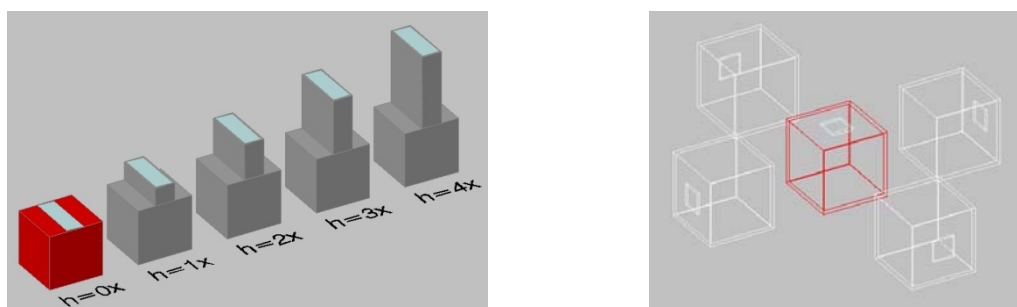


N-S 1-3 0,6 L	<b>0,28</b>	<b>0,15</b>	N-S 1-3 0,8 L	<b>0,38</b>	<b>0,22</b>		
N-S 1-4 0,6 L	<b>0,33</b>	<b>0,18</b>	N-S 1-4 0,8 L	<b>0,45</b>	<b>0,27</b>		

Respecto al campo luminoso, la influencia de los coeficientes de reflexión no modifica las características de la distribución de la luz en el plano de trabajo. Los coeficientes de uniformidad medio y extremo aumentan al aumentar el coeficiente de reflexión. Aunque es cierto que en este caso se han modificado todas las paredes a la vez, por lo que el efecto de la reflexión se multiplica.

### 5.3.2.4 ALTURA DE LINTERNA + ORIENTACIÓN

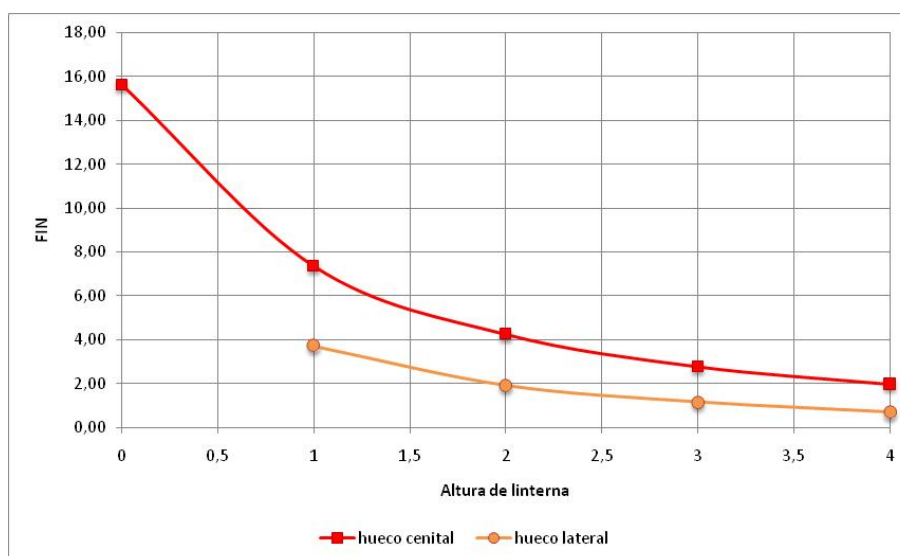
En esta serie se estudia la influencia de situar el hueco de la linterna en otra orientación.



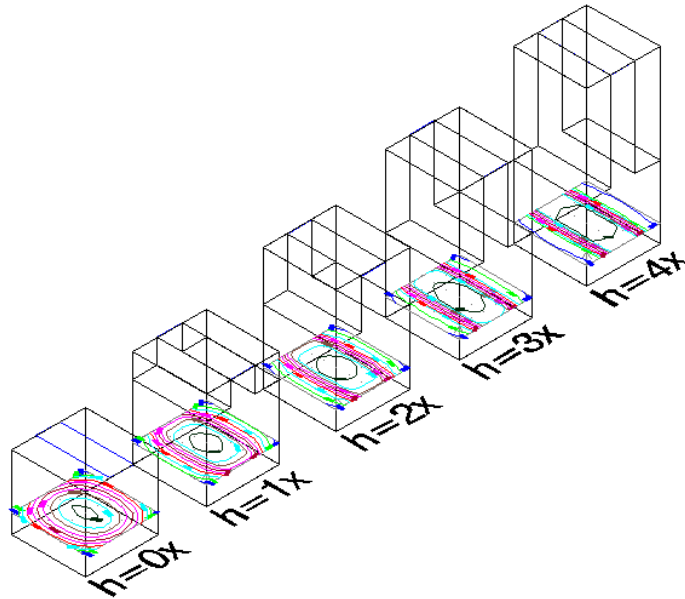
En el programa introducimos el modelo espacial utilizado para estudiar las variaciones de la altura de la linterna y se modifica la ubicación del hueco. Como las linternas son captadoras de luz y hemos comprobado que el factor de iluminación natural depende de la altitud y no de la orientación, se compara la linterna con el hueco cenital y la linterna con el hueco en la parte superior de la linterna, manteniendo la misma superficie relativa de hueco.

Nombre	Datos obtenidos con Lumen Micro 2000							
	E ext	E int (med)	FIN	FIN*	E int (máx)	FINmx	E int (mín)	FINmn
<b>N-S 1-0</b>	<b>18845</b>	<b>2680</b>	<b>14,22</b>	<b>15,64</b>	<b>3692</b>	<b>19,59</b>	<b>1600</b>	<b>8,49</b>
N-S 1-1	18845	1263	<b>6,70</b>	<b>7,37</b>	2060	<b>10,93</b>	538	<b>2,85</b>
N-S 1-2	18845	730,3	<b>3,88</b>	<b>4,26</b>	1318,1	<b>6,99</b>	211,5	<b>1,12</b>
N-S 1-3	18845	477,9	<b>2,54</b>	<b>2,79</b>	892,4	<b>4,74</b>	110,4	<b>0,59</b>
N-S 1-4	18845	340,6	<b>1,81</b>	<b>1,99</b>	642	<b>3,41</b>	93,1	<b>0,49</b>
N-S 1-1	18845	638,6	<b>3,39</b>	<b>3,73</b>	1182,2	<b>6,27</b>	146,2	<b>0,78</b>
N-S 1-2	18845	328,8	<b>1,74</b>	<b>1,92</b>	599,5	<b>3,18</b>	100,8	<b>0,53</b>
N-S 1-3	18845	198,8	<b>1,05</b>	<b>1,16</b>	398,2	<b>2,11</b>	53,1	<b>0,28</b>
N-S 1-4	18845	118	<b>0,63</b>	<b>0,69</b>	197,7	<b>1,05</b>	44,4	<b>0,24</b>

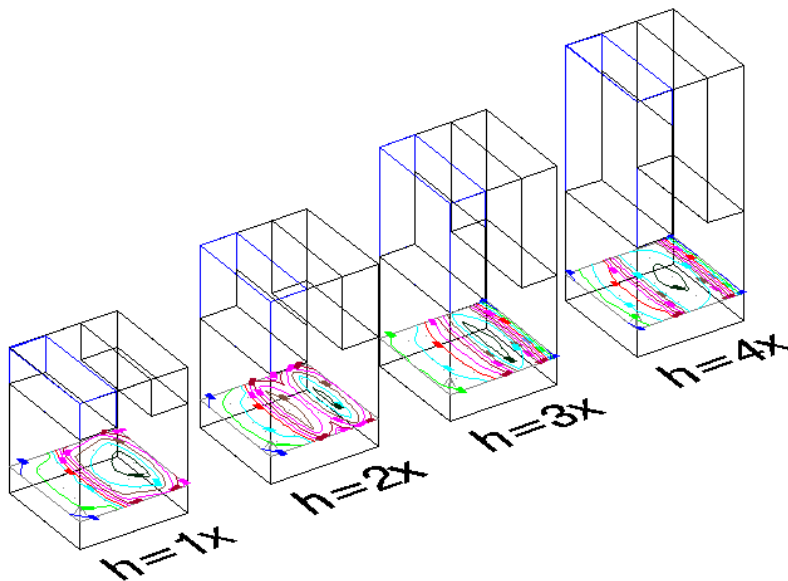
Si representamos el Factor de Iluminación Natural en función de la altura de la linterna:



Al efecto de cambiar de orientación, reduciendo notablemente el valor del factor de iluminación natural, se suma el efecto de la altura de la linterna, disminuyendo hasta hacerse nulo, y el efecto de las reflexiones con los paramentos de la misma, asociado al recorrido de la linterna.



Campo luminoso por hueco cenital según altura de linterna (curva isolux)



Campo luminoso por hueco lateral superior en el extremo de la linterna

Podemos observar que para una altura  $1x$  los niveles máximos se desplazan hacia la pared opuesta al hueco, los niveles medios se distribuyen en la mitad del plano del trabajo mientras que la otra mitad presenta los valores mínimos. Para una altura de  $2x$ , parece que se crean dos centros: el primero creado por la entrada de luz y el segundo creado por las reflexiones en la linterna; una mitad de la superficie de trabajo sigue presentando los niveles mínimos de iluminación mientras la luz se concentra en la otra.

Para una altura de  $3x$  las curvas vuelven a tener un centro donde convergen los dos factores: entrada de luz y reflexión en las paredes de la linterna. Las curvas se distribuyen paralelamente al centro y el campo es más uniforme. Para una altura de  $4x$  el campo presenta rasgos muy parecidos al observado con el hueco cenital, salvo por la desviación del centro de las curvas.

El cambio de orientación se evidencia en que, al producirse reflexiones en las paredes de la linterna, el campo se distorsiona. Aunque la linterna está centrada, los valores máximos se desplazan hacia el lado opuesto en que se abre el hueco. El efecto focal que se produce en el hueco cenital, se dispersa. El coeficiente de uniformidad medio y extremo aumenta con la altura de la linterna

Nombre	Uniformidad	
	<b>U med</b>	<b>U extr</b>
<b>N-S 1-0</b>	<b>0,60</b>	<b>0,43</b>
N-S 1-1	<b>0,43</b>	<b>0,26</b>
N-S 1-2	<b>0,29</b>	<b>0,16</b>
N-S 1-3	<b>0,23</b>	<b>0,12</b>
N-S 1-4	<b>0,27</b>	<b>0,15</b>
N-S 1-1	<b>0,23</b>	<b>0,12</b>
N-S 1-2	<b>0,31</b>	<b>0,17</b>
N-S 1-3	<b>0,27</b>	<b>0,13</b>
N-S 1-4	<b>0,38</b>	<b>0,22</b>



## 6 Conclusiones

Una vez realizadas y analizadas las diferentes simulaciones de iluminación natural para comprobar la fiabilidad de la herramienta de cálculo informática y la influencia de los distintos parámetros que determinan la distribución de la luz natural en el interior de un espacio sobre un modelo geométrico sencillo y su influencia al incorporarle una linterna, se obtienen las siguientes conclusiones a partir de las tablas de datos y las gráficas elaboradas.

### 6.1 Variaciones sobre un modelo geométrico sencillo

Tras analizar y comparar los resultados para las distintas variaciones sobre el modelo geométrico sencillo se obtienen las siguientes conclusiones:

#### 6.1.1 Variaciones de 1º orden

##### 6.1.1.1 REFLEXIÓN

Los valores mínimos de factor de iluminación natural medio en el plano de trabajo corresponden a las simulaciones donde la variable toma el valor de 0'2, ya sea su aplicación en el techo, el suelo, las cuatro paredes o una pared individual; los valores máximos corresponden a los casos en que la variable toma el valor de 0'8.

Partiendo de los valores mínimos para cada una de las cuatro situaciones se producen los siguientes incrementos:

- Sólo techo: 5%
- Sólo suelo: 12%
- Las cuatro paredes: 80%
- Sólo una pared: 15%

Por lo que, de los tres elementos constructivos, el que tiene mayor incidencia al cambiar el coeficiente de reflexión de su superficie es la pared. La modificación del coeficiente de reflexión no afecta a las características del campo luminoso más que cuantitativamente.

##### 6.1.1.2 ORIENTACIÓN

Los valores mínimos de factor de iluminación natural medio en el plano de trabajo corresponden a las simulaciones donde el hueco tiene menor altitud, sin importar la orientación. Cuando al altitud del centro del hueco cambia de 90º (cenit) a aproximadamente 30º (centrado en una pared vertical del modelo) los valores de factor de iluminación natural medio se **reducen a la mitad**.

El campo luminoso se ve afectado por el cambio de ubicación del hueco. En posición cenital centrada el campo se distribuye uniformemente de forma concéntrica bajo el hueco. Cuando el hueco se ubica en una pared el campo luminoso se presenta muy poco uniforme, con un nivel de iluminación máximo próximo a la ventana y una fuerte caída hacia la pared opuesta.

##### 6.1.1.3 SUPERFICIE RELATIVA

El valor mínimo de factor de iluminación natural medio en el plano de trabajo corresponde a la simulación donde el hueco tiene menor superficie relativa. A menor superficie menor capacidad de entrada de luz. Respecto al valor mínimo, el valor máximo de factor de iluminación natural es **135 veces** mayor; respecto al hueco de referencia es **6'74 veces** mayor.

Cuando una de las dimensiones del hueco tiene el rango de magnitud de la sección del elemento constructivo que lo contiene, se focaliza la entrada de luz sin que se distribuya en el espacio, reduciendo fuertemente el nivel de iluminación medio en el plano de trabajo.

#### 6.1.1.4 COEFICIENTE DE FORMA

Los valores de factor iluminación natural medio en el plano de trabajo son muy similares en todos los casos. La diferencia entre el factor de iluminación natural para un coeficiente de forma de 1 y el correspondiente a un coeficiente de forma de 0'2 es del **4%**.

Los efectos del coeficiente de forma tampoco se aprecian en la distribución de curvas isolux en el plano de trabajo.

#### 6.1.1.5 POSICIÓN RELATIVA

El valor máximo de factor de iluminación natural corresponde a la situación de hueco centrado en el plano del techo. El siguiente escalón corresponde al hueco que se posiciona en la mitad de cualquiera de los cuatro lados del plano del techo. El último escalón corresponde al hueco que se posiciona en cualquiera de las cuatro esquinas.

Cambiar la posición relativa de centrada a lateral supone una reducción del **12%** del Factor de Iluminación Natural y una reducción del **24%** si se posiciona en una esquina.

El centro del campo luminoso se ubica bajo el centro del hueco y se ve afectado por las reflexiones en los obstáculos. Hay mayor diferencia entre el valor mínimo y máximo del nivel de iluminación cuando el hueco se coloca en esquina, aunque la uniformidad aumenta con esta posición.

### 6.1.2 Variaciones de 2º Orden

#### 6.1.2.1 REFLEXIÓN + ORIENTACIÓN

Al cambiar la orientación se aprecia que los valores **se reducen a la mitad**, tal como se produce en las variaciones de primer orden. Además, la distribución del campo varía y esto afecta a la incidencia de la reflexión ya que ahora el hueco se ubica en una pared por lo que aumenta la influencia del techo y del suelo.

Para cada ubicación los valores máximos se corresponden a simulaciones en las que el coeficiente de reflexión tomar el valor de 0'8, y los valores mínimos para un valor de 0'2 produciéndose los siguientes incrementos:

Hueco cenital

- Sólo techo: 5%
- Sólo suelo: 12%
- Las cuatro paredes: 80%

Hueco lateral

- Sólo techo: 9%
- Sólo suelo: 14%
- Las cuatro paredes: 62%

Si el efecto de cambiar de posición lateral a cenital supone duplicar el factor de iluminación y, dentro de la posición cenital, cambiar el coeficiente de reflexión en techo de 0'2 a 0'8 supone un incremento del 5%, conociendo el factor de iluminación medio para un hueco lateral con el coeficiente de reflexión en techo de 0'2 se puede predecir cuantitativamente el factor de iluminación natural para el hueco cenital y el coeficiente de reflexión de techo de 0'8 aplicando los incrementos al factor de iluminación natural conocido.

Se mantienen las leyes de comportamiento de cada variable, por lo que sus efectos se suman. Estas leyes también afectan a la distribución de luz natural en el plano de trabajo, donde prevalece el efecto del cambio de ubicación del hueco.

#### 6.1.2.2 REFLEXIÓN + SUPERFICIE RELATIVA

En las variaciones de 1º orden se aprecia que el incremento de factor de iluminación natural que se produce al aumentar la superficie relativa del hueco es muy superior al

incremento producido por el cambio del coeficiente de reflexión de sus paramentos. Cuando ambas variables se combinan, **prevalece el efecto de la superficie relativa** y apenas se aprecia el efecto de la reflexión.

Al aumentar la superficie de hueco se reduce la superficie de techo, el campo se hace más uniforme, por lo que la reflexión pierde importancia. La influencia de la reflexión del techo cae del 6% con una superficie de 0'5%S al 1% con una superficie relativa del 80%. La influencia de la reflexión del suelo cae del 13% con una superficie de 0'5%S al 9% con una superficie relativa del 80%. La influencia de la reflexión de las paredes cae del 82% con una superficie de 0'5%S al 72% con una superficie relativa del 80%.

#### **6.1.2.3 REFLEXIÓN + COEFICIENTE DE FORMA**

En la variación de primer orden se aprecia que la influencia del coeficiente de reflexión es mayor que la influencia del coeficiente de forma. Se respetan las leyes de comportamiento de ambas variables y se suman sus efectos. Si el incremento por cambiar la reflexión del techo es del 5%, y por el cambio de forma es del 4%, por cambiar la reflexión y la forma del hueco es del 9%.

Aunque **se suman sus efectos**, la incidencia sobre el factor de iluminación natural no tiene tanta repercusión como el efecto de otras variables actuando individualmente. Respecto a la distribución de campo, al combinar ambos efectos se acentúa la incidencia de la forma, pero no modifica sensiblemente el campo luminoso.

#### **6.1.2.4 REFLEXIÓN + POSICIÓN RELATIVA**

Tal como sucede en casos anteriores, la incidencia de la reflexión es inferior a la incidencia de la otra variable. En este caso, cambiar la posición relativa implica reducciones en el factor de iluminación natural del **12% y el 24%**. Al incorporar el efecto de la reflexión en los paramentos, éstos mitigan o acentúan esta reducción en función del paramento y de la posición del hueco.

Para el hueco lateral o en esquina, el efecto de cambiar la reflexión del techo o del suelo apenas produce variaciones del 1%. Sin embargo, como las paredes verticales que representan un obstáculo son las que producen las primeras reflexiones, el coeficiente de reflexión tiene mayor relevancia. Cuando el coeficiente de reflexión es de 0'2, aumenta la reducción del factor de iluminación natural hasta el **14% y el 30%**, mientras que con un coeficiente de reflexión de 0'8, se mitiga el efecto de la posición relativa, produciéndose una reducción del factor de iluminación natural del **6% y el 14%**.

#### **6.1.2.5 ORIENTACIÓN + SUPERFICIE RELATIVA**

Tal como se aprecia en otras variaciones, el efecto de cambiar de orientación se aprecia en una reducción de los valores de factor de iluminación natural de aproximadamente el **50%**, así como se ha visto que aumentar la superficie relativa del hueco produce valores muy superiores a los correspondientes a una superficie relativa de 0'5% o 10%.

Al combinarse ambas variables, sus efectos también se combinan y **se suman**. La distribución de campo también se ve afectada por la acción de ambas variables, siendo determinante la ubicación del hueco

#### **6.1.2.6 ORIENTACIÓN + COEFICIENTE DE FORMA**

En la variación de primer orden se aprecia que la **influencia de la orientación** del hueco (200%) es muy superior a la influencia del coeficiente de forma (**4%**), por lo que prevalece su influencia sobre el efecto del coeficiente de forma. Sin embargo, al estudiar la influencia del hueco en vertical o en horizontal, se aprecia que, aunque los valores de factor de iluminación y de uniformidad media son muy similares, para el hueco vertical se produce un aumento del coeficiente de uniformidad extremo y para el hueco horizontal se produce un detrimento.

Esto implica que la diferencia entre el nivel máximo y mínimo de iluminación es mayor para el hueco vertical que para el hueco horizontal, presentando este último un campo luminoso más uniforme.

### 6.1.2.7 **ORIENTACIÓN + POSICIÓN RELATIVA**

Lo determinante en el cambio de orientación es el cambio de altitud del centro del hueco. Al estudiar la posición relativa del hueco en una pared vertical, también cambia la altitud del hueco en tres series: superior, medio e inferior. Si el efecto de cambiar la ubicación a una posición centrada en la pared vertical reduce el factor de iluminación natural a la **mitad**, los huecos que se posicionan en la parte superior aumentan esta reducción un **20%** y los huecos que se posicionan en la parte inferior un **25%**, ya que ambas posiciones tienen obstáculos para difundir la luz natural en el espacio.

Aunque la orientación ejerce una influencia importante, la posición relativa del hueco es capaz de modificar sensiblemente la distribución del campo luminoso y sus efectos se aprecian cuantitativamente.

### 6.1.2.8 **SUPERFICIE RELATIVA + POSICIÓN RELATIVA**

A medida que se aumenta la superficie del hueco, su posición relativa deja de cobrar importancia, ya que se reduce la superficie de movimiento del hueco. Los valores de factor de iluminación natural son muy similares cuando la superficie relativa es del orden del 60%, sin embargo se duplican a medida que la superficie relativa se reduce. **Prevalece el efecto de la superficie relativa** frente a la posición.

### 6.1.2.9 **COEFICIENTE DE FORMA + POSICIÓN RELATIVA**

Aunque cuando actúa individualmente el coeficiente de forma tiene escasa incidencia sobre el factor de iluminación natural, cuando se combina con la posición relativa del hueco, éste puede mitigar o acentuar la reducción del factor de iluminación natural, en función de cómo se posiciona el hueco.

Si se sitúa en una esquina, el coeficiente de forma apenas ejerce influencia, siendo la reducción en todos los casos en torno al **23-25%**. Si el lado que se estira es el que se une a la pared lateral, la reducción aumenta del **12% al 21%**, debido al efecto de la pared; mientras que si el lado estrecho es el que se une a la pared lateral, se mitiga la reducción del **12% al 2%**.

## 6.2 **Variaciones sobre la Linterna**

### 6.2.1 **Linterna referencia**

#### 6.2.1.1 **ALTURA DE LINTERNA**

El valor mínimo de factor de iluminación natural medio en el plano de trabajo corresponde a la simulación donde la chimenea tiene mayor altura. A mayor recorrido, mayor cantidad de reflexiones y menor nivel de iluminación. Respecto al valor mínimo, el valor máximo de factor de iluminación natural es **18'49 veces** mayor.

A medida que aumenta la altura de la linterna las curvas isolux se concentran bajo el centro del hueco y adquieren una forma más cuadrada. Además, el coeficiente de uniformidad medio y el coeficiente de uniformidad extremo disminuyen al aumentar la altura de la linterna, produciendo un efecto focal en la distribución de la luz natural en el plano de trabajo.

#### 6.2.1.2 **ALTURA + POSICIÓN RELATIVA**

En el caso de las linternas el factor determinante es la reflexión de la luz en sus paredes; cuando se cambia a una posición lateral o en esquina, una o dos paredes de la linterna se prolongan para ser límites del modelo. Como la linterna produce un efecto localizador, la presencia de paredes que se prolonguen hasta el suelo es beneficiosa porque distribuye la luz en el espacio.

A medida que aumenta la altura de la linterna, las **pérdidas** del **12% y 24%** que se registraban para una posición lateral y en esquina se reducen debido a las reflexiones en el interior de la linterna.



### 6.2.1.3 ALTURA + REFLEXIÓN

Mientras en el modelo geométrico sencillo la incidencia de la reflexión produce variaciones alrededor del **10-15%**, en la linterna de referencia cobra protagonismo la influencia del coeficiente de reflexión de las paredes, ya que los incrementos para el techo y el suelo son similares al modelo geométrico sencillo.

Al considerar que todas las paredes varían a la vez, los incrementos producidos en el factor de iluminación natural por la reflexión aumentan del **80% a 535%**, pero en realidad están variando muchos elementos a la vez.

Al considerar que sólo varían el coeficiente de reflexión de las paredes internas de la linterna, aunque sigue siendo una variación de múltiples elementos, el factor de iluminación natural tiene un incremento del **50%** de 0'2 a 0'8 para una altura de 1x, y un incremento del **375%** de 0'2 a 0'8 para una altura de 4x.

A mayor altura, mayor número de reflexiones, por lo que cualquier cambio en el coeficiente de reflexión cobra relevancia.

### 6.2.1.4 ALTURA + ORIENTACIÓN

Al cambiar la ubicación del hueco a la posición superior de la pared de la linterna se aprecian dos efectos. Para un hueco lateral, el valor del factor de iluminación natural es **7'8 veces** mayor en una linterna de altura 1x que para una linterna de altura 4x, frente al salto de **18'5 veces** el valor de la linterna de altura 4x con el hueco cenital.

Debido al efecto de las reflexiones en el recorrido de la linterna, a medida que aumenta la altura, los valores de factor de iluminación natural para hueco cenital y hueco lateral se aproximan, aunque el valor para hueco cenital sea el triple que para hueco lateral.

La incidencia de la orientación del hueco está relacionada con la distribución del campo luminoso. Al producirse reflexiones en las paredes de la linterna, el campo se distorsiona. Aunque la linterna está centrada, los valores máximos se desplazan hacia el lado opuesto en que se abre el hueco. El efecto focal que se produce en el hueco cenital, se dispersa. El coeficiente de uniformidad medio y extremo aumenta con la altura de la linterna

### 6.2.1.5 ALTURA + SUPERFICIE RELATIVA

Al aumentar la superficie relativa del hueco, aumenta la capacidad de entrada de luz. La diferencia entre el valor de factor de iluminación natural para una linterna de altura 0x a 4x se reduce al aumentar la superficie relativa. Si para un hueco del 10% de superficie la diferencia era de **18'49 veces** el valor mínimo, para una superficie del 80% esta diferencia se reduce a **4 veces** el valor mínimo.

### 6.2.1.6 ALTURA + COEFICIENTE DE FORMA

La altura de la linterna, enfatiza el efecto de la forma del hueco, de forma que para una altura de 4x, la reducción del factor de iluminación natural es del **23%** en vez del 4% original.

Al mantener la orientación y la posición relativa del hueco, el campo luminoso en todos los casos presenta aproximadamente las mismas características. La altura de la linterna amplifica la deformación de las curvas isolux.

## 6.2.2 Linterna lado a lado

En el caso de esta linterna, la superficie relativa del hueco es del 30%, por lo que las relaciones varían respecto a lo visto para los casos anteriores.

### 6.2.2.1 ALTURA

El valor mínimo de factor de iluminación natural medio en el plano de trabajo corresponde a la simulación donde la chimenea tiene mayor altura. A mayor recorrido, mayor cantidad de reflexiones y menor nivel de iluminación. Respecto al valor mínimo, el valor máximo de factor de iluminación natural es **7'87 veces** mayor.

A medida que aumenta la altura de la linterna las curvas isolux se concentran bajo el centro del hueco y adquieren una forma más rectangular, hasta tomar la forma del hueco de la linterna. Además, el coeficiente de uniformidad medio y el coeficiente de uniformidad extremo disminuyen al aumentar la altura de la linterna, produciendo un efecto focal en la distribución de la luz natural en el plano de trabajo.

#### 6.2.2.2 ALTURA + POSICIÓN RELATIVA

Además de la altura de la linterna, el factor determinante es la reflexión de la luz en las paredes de la misma; cuando se cambia a una posición lateral, una pared de la linterna se prolonga para ser el límite del modelo. Como la linterna produce un efecto localizador, la presencia de paredes que se prolonguen hasta el suelo es beneficiosa porque distribuye la luz en el espacio.

Respecto al valor mínimo, el valor máximo de factor de iluminación natural es **6'06 veces** mayor, frente a la posición central, al aumentar la altura. El cambio de posición **reduce los valores** obtenidos para la linterna centrada un **11%** para una altura de 0x y produce un **aumento del 15%** para una altura de 4x

#### 6.2.2.3 ALTURA + REFLEXIÓN

Al cambiar el coeficiente de reflexión de las paredes del modelo, manteniendo constante el suelo y el techo, se producen pérdidas a medida que aumenta la altura, siendo éstas menores a medida que aumenta el coeficiente de reflexión. Para un coeficiente de 0'2 el factor de iluminación natural **se reduce al 11%** para una altura de 4x, mientras que para un coeficiente de reflexión de 0'8 el factor de iluminación natural **se reduce al 20%**.

Cuando se cambia el coeficiente de reflexión tan sólo de las paredes de la linterna, aunque cuantitativamente los valores de factor de iluminación natural varían, los incrementos o decrementos producidos tienen pequeñas variaciones para linternas de poca altura y muy similares a partir de una altura de 2x. Esto quiere decir que la mayoría de las reflexiones se producen en el interior de la linterna y apenas se producen reflexiones en el interior del espacio.

#### 6.2.2.4 ALTURA + ORIENTACIÓN

La altura de la linterna produce grandes reducciones del factor de iluminación natural, así como las reflexiones en su interior. El cambio de ubicación del hueco a la parte superior de una pared de la linterna produce una reducción del **50%** respecto al hueco cenital para una altura de 1x, sin embargo, a medida que aumenta la altura disminuye la pérdida, siendo del **35%** para una altura de 4x respecto al hueco cenital, debido a las reflexiones.

El cambio de orientación se evidencia en que, al producirse reflexiones en las paredes de la linterna, el campo se distorsiona. Aunque la linterna está centrada, los valores máximos se desplazan hacia el lado opuesto en que se abre el hueco. El efecto focal que se produce en el hueco cenital, se dispersa. El coeficiente de uniformidad medio y extremo aumenta con la altura de la linterna

### 6.3 Conclusiones Generales

Para un modelo geométrico sencillo, de los factores estudiados que determinan la distribución de luz natural su interior, el que produce mayores incrementos en el factor de iluminación natural es el factor de Superficie Relativa de Hueco, siendo el incremento máximo de 7 veces el valor de referencia. Su influencia prevalece sobre cualquier otra variable.

En segundo lugar se encuentra el efecto de la Altitud del Hueco, ya sea en forma de Orientación o de Posición Relativa. El cambio de Orientación, entendido como cambio de la ubicación del hueco, del techo a una pared vertical, además de producir grandes reducciones cuantitativas, del orden del 50%, en el factor de iluminación natural respecto al hueco de referencia, cambia radicalmente la distribución de curvas isolux en el plano de trabajo, así como la uniformidad del campo. La influencia de la Orientación sobre la distribución del campo luminoso prevalece sobre cualquier otra variable.

El efecto que produce la Posición Relativa tiene que ver con la posición de los obstáculos, que impiden distribuir la luz en el espacio, y con las reflexiones sobre ellos. Su efecto se aprecia en reducciones cuantitativas, entre el 12% y el 24%, del factor de iluminación natural y en la distribución del campo, ya que el cambio de posición afecta a la posición del centro de las curvas. Su efecto prevalece sobre la reflexión de la luz en las paredes.

El siguiente factor, por orden de influencia, es la Reflexión en los paramentos, siendo mayor la influencia de la reflexión sobre una pared que sobre el suelo, produciendo incrementos del orden del 15%. La reflexión sobre el techo apenas tiene incidencia en un hueco cenital, produciendo una reducción del 5%. La reflexión de los paramentos sólo afecta cuantitativamente, ya que no modifica la distribución de las curvas isolux en el plano de trabajo.

Por último, el Coeficiente de Forma apenas ejerce influencia sobre la distribución de la luz natural en el interior del espacio ni sobre el factor de iluminación natural, produciendo variaciones del orden del 4%.

Los factores determinantes en una Linterna, sin embargo, son la Altura de la misma y la Reflexión en sus paredes interiores.

La Altura de la Linterna produce grandes reducciones en el factor de iluminación medio y provoca cambios importantes en la distribución de la luz natural, focalizándola bajo la misma. El efecto de la altura de la linterna prevalece sobre cualquier otra variable.

A continuación se mantiene el orden de relevancia de los factores: Superficie Relativa del Hueco y Orientación del mismo. El efecto de la Orientación modifica la distribución del campo luminoso, siendo éste más difuso y más uniforme a pesar del efecto de la Altura.

Para el caso de las Linternas el siguiente factor de influencia es la Reflexión en sus paredes interiores. A mayor altura, mayor número de reflexiones, por lo que cualquier cambio en el coeficiente de reflexión afecta cuantitativamente al factor de iluminación natural.

La Posición Relativa ejerce su influencia en cuanto que la pared que obstaculiza se convierte en un elemento reflector con el que distribuir la luz proveniente de la linterna. El campo es más uniforme, y se producen algunos incrementos respecto a la linterna exenta.

La Altura de la linterna focaliza la luz bajo su hueco, enfatizando la forma del mismo. Es bajo esta consideración donde el Coeficiente de Forma adquiere cierto protagonismo, ya que el efecto focalizador de la linterna hace que el coeficiente de forma modifique la distribución de las curvas isolux en el plano de trabajo.

De las diferentes simulaciones, de 1º y 2º orden, de su análisis y comparación de comportamientos se extrae que, en las combinaciones de 2º orden, se respetan y se suman las leyes de comportamiento de cada variable; luego, con los datos actuales, se puede apuntar la posibilidad de predecir el factor de iluminación natural de variaciones complejas de las características del hueco mediante la aplicación de los índices de cada uno de los parámetros que se modifican.

## 6.4 Futuras líneas de trabajo

A partir de los estudios realizados se abren nuevos caminos de investigación, tanto para confirmar las tendencias observadas en la variación de los parámetros, como para estudiar otras posibilidades no contempladas en este documento.

En este trabajo se han estudiado los comportamientos de las variables tomadas de una en una y en parejas. El siguiente paso sería estudiar si estas leyes también se suman y se respetan cuando se realizan variaciones tomando tres, cuatro y cinco parámetros. Como resultado de estas variaciones se obtendrán índices de comportamiento que se aplicarán para predecir el factor de iluminación natural de una situación inicial al introducir una modificación compleja de las características del hueco.

Por otro lado, se ha estudiado el caso de un único hueco iluminando el espacio. Ante esto, se abre una línea de trabajo que consistiría en estudiar el caso de varios huecos iluminando

el espacio. Manteniendo la superficie relativa, se abre la posibilidad de estudiar la influencia del número de huecos, la disposición de los mismos, su ubicación en una, dos o más paramentos...

La tercera línea de trabajo, proveniente de la posibilidad de dividir el hueco manteniendo la superficie relativa, consiste en estudiar las linternas tal como se construyen tradicionalmente, es decir, con aberturas en sus cuatro lados.

Los resultados se han obtenido sobre un modelo teórico, con datos de iluminación relativos capaces de caracterizar lumínicamente un espacio. Luego, otra línea de trabajo consistiría en relacionar los resultados obtenidos con las condiciones de confort medias anuales de un espacio según la tarea visual, bajo cualquier condición de cielo.

Una vez finalizados estas líneas de trabajo, se abre otra serie de estudios en la que se consideran modificaciones en el espacio modelo, para caracterizar lumínicamente distintas tipologías edificatorias. Estos estudios estarían en la misma línea que otros ya realizados para caracterizar acústicamente edificios eclesiásticos o teatrales.

## 7 Anejos

### 7.1 IEA-SHC: Tareas

- Task 1: Investigation of the performance of Solar Heating and Cooling Systems (1977-1983)
- Task 2: Coordination of Solar Heating and Cooling R&D (1977-1984)
- Task 3: Performance Testing of Solar Collectors (1977-1987)
- Task 4: Development of an Isolation Handbook and Instrument Package (1977-1980)
- Task 5: Use of Existing Meteorological Information for Solar Energy Application (1977-1982)
- Task 6: Performance of Solar Systems Using Evacuated Collectors (1979-1987)
- Task 7: Central Solar Heating Plants with Seasonal Storage (1979-1988)
- Task 8: Passive and Hybrid Solar Low Energy Buildings (1982-1988)
- Task 9: Solar Radiation and Pyranometry Studies (1982-1991)
- Task 10: Solar Materials R&D (1985-1991)
- Task 11: Passive and Hybrid Solar Commercial Buildings (1986-1991)
- Task 12: Building Energy Analysis and Design Tools for Solar Applications (1989-1994)**
- Task 13: Advance Solar Low Energy Buildings (1989-1994)
- Task 14: Advance Active Solar Energy Systems (1990-1994)
- Task 15: Advanced Central Solar Heating Plants (no iniciada)
- Task 16: Photovoltaics in Buildings (1990-1995)
- Task 17: Measuring and Modelling Spectral Radiation (1991-1994)
- Task 18: Advanced Glazing Materials for Solar Applications (1992-1997)
- Task 19: Solar Air Systems (1993-Apr 99)
- Task 20: Solar Energy in Building Renovation (1993-Dec 98)
- Task 21: Daylight in Buildings (Sep 95-Aug 99)**
- Task 22: Building Energy Analysis Tools (Jan 96-Dec 02)
- Task 23: Optimization of Solar Energy Use in Large Buildings (Jun 97-Jun 02)
- Task 24: Active Solar Procurement (Apr 98-Mar 03)
- Task 25: Solar Assisted Air Conditioning of Buildings (Jun 99-May 04)
- Task 26: Solar Combisystems (Dec 98-Dec 02)
- Task 27: Performance of Solar Facade Components (Jan 00-Dec 05)
- Task 28: Solar Sustainable Housing (Apr 00-Apr 05)
- Task 29: Solar Crop Drying (Jan 00-May 06)
- Task 31: Daylighting Buildings in the 21<sup>st</sup> Century (Sep 01-Aug 05)**
- Task 32: Advanced Storage Concepts for Solar Thermal Systems in Low Energy Buildings (Jul 03-Dec 07)
- Task 33: Solar Heat for Industrial Process (Nov 03-Oct 07)
- Task 34: Testing and Validation of Building Energy Simulation Tools (Oct 03-Dec 07)
- Task 35: Photovoltaic/Thermal Systems (Jan 05-Jan 08)

Task 36: Solar resource Knowledge Management (Jul 05-Jun 10)

Task 37: Advanced Housing Renovation with Solar & Conservation (Jul 06-Jun 10)

Task 38: Solar Air-Conditioning and Refrigeration (Sep 06-Dec 10)

Task 39: Polymeric Materials for Solar Thermal Applications (Oct 06-Sep 10)

Task 40: Towards Net Zero Energy Solar Buildings (Oct 08-Sep 13)

Task 41: Solar Energy and Architecture (May 09-Apr 12)

Task 42: Compact Thermal Energy Storage (Jan 09-Dec 12)

Task 43: Solar Rating & Certification Procedure (Jul 09-Jun 12)

## 7.1.1 Task 21 y Task 31: Instituciones y Empresas Participantes

### 7.1.1.1 TASK 21: DAYLIGHT IN BUILDINGS (1995-1999)

#### ALEMANIA

- Technische Universität Berlin. Institut für Elektronik und Lichttechnik. H Kaase, S Aydinli, T Knoop.
- Fraunhofer Institut für Bauphysik. Hans Erhorn, Jürgen Stoffel, Jan de Boer.
- Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme. Jan Wienold.
- Institut für Bau-Umwelt-und Solarforschung. Roman Jakobiak, Ingo Lutkemeyer.
- Institut für Licht und Bautechnik. Helmut Müller, Martin Kischkoweit-Lopin.

#### AUSTRALIA

- University of Sydney. Dept. Architecture & Design Science. Nancy Ruck
- Taylor Oppenheim Architects. David Oppenheim.
- Murdoch University. Department of Engineering. Geoffrey Roy.

#### AUSTRIA

- Bartenbach Lichtlabor. Martin Klingler.

#### BÉLGICA

- Université Catholique de Louvain. Centre de Recherche en Architecture. André de Herde, Magali Bodart.

#### CANADA

- National Research Council Canada. Indoor Environment Research. Morad Atif.
- University of Calgary. Faculty of Environmental Design. James Love.
- Enermodal Engineering Limited. Stephen Carpenter.

#### DINAMARCA

- Danish Building Research Institute. Energy and Indoor Climate Division. Kjeld Johnsen, Jens Christofferson, Karl Grau.
- Danish Technological Institute. Division of Energy. Poul Kristensen.
- Esbensen Consulting Engineers. Christina E. Madsen

#### ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

- Lawrence Berkeley National Laboratory. William L Carroll.
- NREL. Paul Torcellini.

FINLANDIA

- Helsinki University of Technology. Power Systems and Illumination Eng. Lab. Liisa Halonen.

FRANCIA

- ENTPE/DGCB. Vincent Berrutto, Marc Fontoynt, R Mitanchey.

ITALIA

- Universita "La Sapienza" di Roma. Dipartimento Fisica Tecnica. Franco Gugliermetti.
- ENEA, SIRE. Ferdinando Raponi.

NUEVA ZELANDA

- Victoria University of Wellington. School of Architecture. Michael Donn.

NORUEGA

- Norwegian University of Science and Technology. Faculty of Architecture, Trondheim. Oyvind Aschehoug.
- Norwegian Electrical Power Research Institute. Bjorn Brecke.

PAISES BAJOS

- TNO-TUE Centre for Building Research. Laurens Zonneveldt.
- Delft University of Technology. Martine Velds.
- Phillips Lighting B.V. Ariadne Tenner.
- Etap.B.V. Frans Taeymans.

REINO UNIDO

- Building Research Establishment. Lighting & Applied Vision Section. Maurice Aizlewood, Paul Littlefair, Liam Roche.

SUECIA

- KTH, Built Environment. Staffan Hygge, Hans Allan Lofberg.
- Lund University. Dept. Of Atomic Spectroscopy. Nils Svendenius.

SUIZA

- LESO-PB / EPFL. J-L Scartezzini, L Michel, G Courret.
- EMPA. Nicole Hopkirk.
- Simos Lighting Consultants. Simon Simos.

**7.1.1.2 TASK 31: DAYLIGHTING BUILDINGS IN THE 21<sup>ST</sup> CENTURY (2001-2005)**

ALEMANIA

- Fraunhofer-Institut für Bauphysik. Hans Erhorn, Jan de Boer.

AUSTRALIA

- Queensland University of Technology. School of Physical Sciences. Steven Coyne, Phillip Greenup
- Deakin University. Mark Luther

BÉLGICA

- Université Catholique de Louvain. Architecture et Climat. Magali Bodart.

CANADA

- National Research Council. Indoor Environment Research Program. Christoph Reinhart, Guy Newsham

DINAMARCA

- Danish Building and Urban Research. Energy and Indoor Climate Division. Kjeld Johnsen.

ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

- Lawrence Berkeley National Laboratory. William L. Carroll, Steve Selkowitz, Eleanor Lee.

FINLANDIA

- Helsinki University of Technology. Jorma Lethovaara. Liisa Halonen.

FRANCIA

- ENTPE/DGCB. Marc Fontoynt, Catherine Laurentin, Yannick Sutter.
- Ingelux. Laurent Escaffre, Christophe Marty
- TECHNAL. Jean-marc Dizel.

ITALIA

- Politecnico di Torino. Dipartimento di Energetica. Facolta di Architettura. Anna Pellegrino, Valentina Serra.

JAPÓN

- Dept. of Architecture & Urban Design. Yasuko Koga.

NUEVA ZELANDA

- Victoria University of Wellington. Centre for Building Performance. Michael Donn, Werner Osterhaus
- University of Auckland. School of Architecture & Planning. Kit Cuttle.

PAISES BAJOS

- Eindhoven Technical University. Faculty of Building & Architecture. Myriam Aries.
- TU-DELFT. Regina Bokel.
- Etap Lighting B.V. Frans Taeymans.
- Philips Lighting B.V. Ariadne Tenner.
- TNO-TUE Centre for Building Research. Laurens Zonneveldt.

REINO UNIDO

- Institute of Energy & Sustainable Development. John Mardaljevic.

SUECIA

- Lund University. Division of Energy and Building Design. Dept. of Construction and Architecture. Helena Bülow-Hübe.
- PELK Design Group. Lars R Bylund.
- Lund University. Dept. of Astronomy. Nils Svendenius.

SUIZA

- École Polytechnique Fédérale de Lausanne. Solar Energy & Building Physics. Jean-Louis Scartezzini, Nicolas Morel, Antoine Guillemin.



## 7.2 Proyectos de Investigación en Hong-Hong

1. Study of Energy, Environmental, Economic and Strategic Aspects for Renewable Energy Facilities in Hong Kong.(9041470, On-going)
2. A Study of Climatic Variables Atmospheric Elements and Standard Skies and the Implications to Building Energy, Comfort and Health Issues.(7002284, On-going)
3. An Investigation of Daylighting Performance and Energy Saving in Daylit Corridors through Field Measurements.(7100193, Completed)
4. A Preliminary Study of the Operational Performance and Efficiency Characteristic for Solar Photovoltaic System in Hong Kong.(7100265, Completed)
5. An Investigation of Sky Luminance Distribution and External Obstruction on Daylighting Designs for High-Rise Building in Hong Kong. (7001278, Completed)
6. Development of a Simple Graphical Approach Based on Daylight Coefficient Concept and the CIE 15 Standard Skies for Indoor Daylight Luminance Prediction. (9210020, Completed)
7. Analysis of Light-pipe Systems for Deep Plan Office Buildings in Hong Kong. (7001567, Completed)
8. An Analysis of Lighting Controls Combined with Solar Control Film Coatings and the Use as an Overall Thermal Transfer Value (OTTV) Alternative. (7001581, Completed)
9. Development of Inclined Solar Irradiance Models for Photovoltaic System Design and Performance Evaluation in Subtropical Climates. (7001688, Completed)
10. Development and Validation of Design Tools for Estimating the Indoor Daylight Illuminance under the 15 CIE Standard Skies. (9050195, Completed)
11. Sky Classification and Performance Analysis of Transparent Building Integrated Photovoltaic (BIPV) facade Using Artificial Neural Networks (ANNs) Technology. (9041140, Completed)



## 7.3 Bibliografía

### 7.3.1 Libros

Ander, Gregg D. "Daylighting performance and design". New York [etc.] Van Nostrand Reinhold, 1995.

Baker, N.; Fanchiotti, A.; Steemers, K. "Daylighting in architecture: a European reference book". London, James & James, 1993.

Baker, Nick. "Daylight design of buildings". London: James & James, cop. 2002.

Brandi Licht, Ulrike. "Lighting design: principles implementation case studies". Munich, Detail Practice, 2006.

Brandi, Ulrike. "Light book: the practice of lighting design". Basel [etc.]: Birkhäuser, 2001.

Carroll, William L. "Daylighting Simulation: Methods, Algorithms, and Resources". A Report of IEA SHC Task 21 / ECBCS ANNEX 29 and Lawrence Berkeley National Laboratory LBNL-44296 December 1999

Casal, José M. "El ambiente luminoso en el espacio arquitectónico". Madrid, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid [etc.], 1978.

CIBSE. "CIBSE Lighting Guide nº14: Museums and Art Galleries". CIBSE, London, 1980

CIE. "Daylight: Internacional recomendations for the calculations of natural daylight" Publicaciones de la Comisión Internacional de Iluminación. nº 16 Traducción J. Navarro Casas. [s.l.] [s.n.] 1970

Comité Español de Iluminación, Instituto para la Diversificación y ahorro de la Energía, [con la colaboración del Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España]. "Guía técnica [para el] aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios". Madrid: IDAE, 2005.

Egan, David M. "Concepts in architectural lighting". New York [etc.] McGraw-Hill, 1983.

Giedion, S. "El presente eterno. Los comienzos de la Arquitectura". Madrid, Alianza, 1992.

ICRBC. "I Jornadas de iluminación de monumentos". Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales [etc.], Madrid 1992.

Lam, William M. C. "Sunlighting: as formgiver for architecture". New York, Van Nostrand Reinhold, 1986.

Lechner, N. "Heating, Cooling, Lighting: design methods for architects". John Wiley & Sons, Inc. Nueva York 2001

Lynes, J. A. "Principles of natural lighting". Amsterdam [etc.] Elsevier, 1968.

Major, Mark. "Made of light the art of light and architecture". Basel [etc.]: Birkhäuser Verlag, 2005.

Millet, Marietta S. "Light revealing architecture". New York [etc.] Van Nostrand Reinhold, 1996.

Ministerio de Cultura. "Normas de conservación preventiva para la implantación de sistemas de iluminación en monumentos y edificios históricos". Madrid. Febrero 2005

Moore, Fuller. "Concepts and practice of architectural daylighting". New York, Van Nostrand Reinhold, 1985.

Muñoz Heras, Olvido. "Condiciones de iluminación natural en Museos construidos en los años ochenta y noventa en España: la luz en los museos que vi nacer" Tesis doctoral, directores Jaime Navarro Casas, Juan José Sendra Salas. Sevilla, Universidad de Sevilla, Departamento de Construcciones Arquitectónicas I, 2006.

Navarro Casas, J. "Últimos avances en la metodología de análisis de la iluminación natural". Máster en Medio ambiente y Arquitectura Bioclimática. Madrid, 2001

Navarro Casas, Jaime. "Sobre iluminación natural en arquitectura". Sevilla Universidad de Sevilla, Servicio de Publicaciones, 1983.

Sheppard, S. R. J. "La luz del día en los edificios". Barcelona, Reverté, 1951.

### 7.3.2 Artículos

Acosta, I.; Navarro, J.; Sendra, J.J. "Comparative Analysis of Lighting Simulation Software." Artículo aceptado en Renewable and Sustainable Energy Reviews Septiembre 09. Pendiente de publicación.

Al-Maiyah, S.; Elkadi, H. "The role of daylight in preserving identities in heritage context." Renewable and Sustainable Energy Reviews, nº 11 (2007) 1544-1557

Balocco, C. and Calzolari, R. "Natural light design for an ancient building: A case study." Journal of Cultural Heritage, nº 9 (2008) 172-178

Belakehal, A.; Aoul, K.T.; Bennadji, A. "Sunlighting and daylighting strategies in traditional urban spaces and buildings on hot arid regions." Renewable energy, nº 29 (2004) 687-702

Cabeza, J. M. "Noticia del barroco: el caso de la Iglesia sevillana de San Luis de los Franceses". Separata de: Revista de Historia y Teoría de la Arquitectura, nº 0 (1998) 7-33.

Cañas, I.; Martín, S. "Recovery of Spanish vernacular construction as a model of bioclimatic architecture." Building and Environment, nº 39 (2004) 1477-1495

Gedík, G.Z. "Evaluation of traditional architecture in terms of building physics: Old Diyarbakır houses." Building and Environment, nº 42 (2007) 1810-1816

Luxan García de Diego, M. "Restauración de la iluminación natural." Ciudades para un Futuro más Sostenible, nº 9 (1999)

Manioglu, G.; Yilmaz, Z. "Energy efficient design strategies in the hot dry area of Turkey." Building and Environment, nº 43 (2008) 1301-1309

Navarro, J.; Sendra, J.J. "Daylighting Provided By Horizontal Openings Using the Illumination Vector." Renewable Energy, nº 15 (2006) 2513-2523

Navarro, J.; Sendra, J.J. "Determination of the Origin of the Illumination Vector Due to Vertical Windows under Moon-Spencer Sky Conditions (Uniformly Overcast)." Renewable Energy, nº 1 (2008) 168-172

Navarro, J.; Sendra, J.J. "Discusión del Valor de la Iluminación Horizontal a Partir de Nuevos Ábacos." Montajes e Instalaciones, nº ENERO (1991) 127-132

Ruggiero, F.; Serra Florensa, R.; Dimundo, A. "Re-interpretation of traditional architecture for visual comfort." Building and Environment, nº 44 (2009) 1886-1891

Schibille, N. "Astronomical and Optical Principles in the Architecture of Hagia Sophia in Constantinople." Science in context, nº 22 (2009) 27-46

### 7.3.3 Congresos

Barros, C.; Navarro, J.; Sendra, J.J. "Design and Calculation Method for Natural Lighting in Architecture, Part II: the Reflected Component." European Conference on Architecture: Solar Energy in Architecture and Urban Planning. Num. 4. Lyon (Francia). 1994. Pág.1133-1138

Bryan H., "Lighting/Daylighting Analysis: A Comparison", School of Architecture, Arizona State University, American Solar Energy Society Conference, Reno, Nevada (2002)

Estes, James M. Jr; Schreppler, Susan P.E.; Newsom, Tonya. "Daylighting Prediction Software: Comparative Analysis and Application". Presented at the Fourteenth Symposium on Improving Building Systems in Hot and Humid Climates - May 17-18, 2004.

Gandolfo, A. J.; Mora Galisteo, J. "Ahorro energético mediante el aprovechamiento de la luz natural" X Simposium Comité Español de Iluminación, Publicaciones del Comité Español de Iluminación, Tenerife, 1984

Jongewaard, M., "Daylight Calculations, Measurements and Visualization in Non-Empty Rooms," Proceedings of Lux Europa, Edinburgh, Scotland, 1993.

Ubbelohde, M. S. and Humann C., "Comparative Evaluation of Four Daylighting Software Programs", ACEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings Proceedings, 1998.



## 7.4 Simulaciones en Lumen Micro: Salida de Datos

Lumen Micro ofrece la posibilidad de emitir diferentes salidas de datos en función de lo que se necesite. Los datos que emiten pueden ser de carácter informativo, referidos a la entrada de datos o a las características del modelo, o pueden ser datos calculados por el programa.

Fundamentalmente se ha trabajado con tres salidas diferentes:

- Características de la luz del día
  - Datos físicos: localización, hora, día, condiciones de cielo
  - Datos de iluminancia sobre las superficies exteriores
- Características del modelo
  - Datos físicos: dimensiones, reflectancias de los paramentos
  - Localización, hora, día, condiciones de cielo
- Resultados de cálculo
  - Resultados estadísticos de la rejilla de cálculo
  - Resultados en cada punto de la rejilla de cálculo

Las tablas se realizan con los datos de la hoja de resultados de cálculo para cada simulación. Además, cuando se estudia la variación del coeficiente de reflexión, la hoja de

resultados de cálculo se acompaña con la hoja de características del modelo.

La hoja de características de la luz del día sólo se emplea para el análisis de las variaciones temporales en el programa.

Ante el volumen de datos generado se crea un anejo de cálculo separado del documento, disponible para su consulta.