



MORELOS

IEEE 3º Congreso Internacional en Innovación y Desarrollo
Tecnológico, 28 al 30 de septiembre 2005, Cuernavaca, Morelos,
México



Simulador de sistemas de iluminación. Módulo: cantidad y calidad de luz en interiores. “SIMCLI. Iluminación interior”

H. García Flores
Instituto Tecnológico de Puebla
Puebla, Puebla, México

Resumen: Simulador de Sistemas de Iluminación. Módulo Cantidad y Calidad de Luz en Interiores, es una aplicación computacional dirigida a estudiantes de nivel superior en ramas afines al diseño de sistemas de alumbrado. Su objetivo es calcular los niveles de iluminación al plano de trabajo de un espacio interior iluminado, bajo condiciones como tipo de fuente de luz artificial, ubicación de luminarias, tipo de tarea visual, entre otros; así como los indicadores de calidad y magnitudes para el uso adecuado de la energía eléctrica, basado en los procedimientos recomendados por la IESNA (Sociedad de Ingenieros en Iluminación de Norteamérica, por sus siglas en inglés) y comparando sus resultados con lo establecido en las Normas Oficiales Mexicanas NOM-025-STPS-1999 y NOM-007-ENER-1995 relativas a “Condiciones de Iluminación en Centros de Trabajo” y “Eficiencia Energética para Sistemas de Alumbrado en Edificios no residenciales”, respectivamente. Simulador de Sistemas de Iluminación. Módulo: Cantidad y Calidad de Luz en Interiores es el primer simulador gratuito y de origen y alcance académico que permite diseñar y simular sistemas de alumbrado basado en Normas Oficiales Mexicanas y en procedimientos reconocidos internacionalmente.

Abstract: Simulador de Sistemas de Iluminación. Módulo Cantidad y Calidad de Luz en Interiores (Illuminating System Simulator. Mod.: Light Interior Amount and Quality), is a software design to students of topics about lighting systems. Its purpose is to calculate the average light and point light at desk, in accordance with conditions like artificial light source, visual work, source position, too it calculates quality indicators and values to approach of electric power, in accordance with the algorithms of Illuminating Engineering

Society of North America and Mexican Official Standards (NOM's) NOM-025-STPS-1999 Condiciones de Iluminación en Centros de Trabajo (Illuminating Conditions in work Places) and NOM-007-ENER-1995 Eficiencia energética en Edificios no residenciales (Energy efficiency in public buildings).

Introducción

Desde 1998 el Laboratorio de Iluminación del Instituto Tecnológico de Puebla ha implementado mecanismos que permiten al estudiante participar activamente en el desarrollo de equipo mecánico, electrónico y de sistemas que involucren procesos para el estudio de la iluminación. Simulador de Sistemas de Iluminación. Módulo: Cantidad y Calidad de Luz en Interiores es un Proyecto de Desarrollo aplicable al Programa de Residencias Profesionales del Sistema Nacional de Educación Superior Tecnológica, diseñado y construido en el Laboratorio de Iluminación perteneciente al Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica del Instituto Tecnológico de Puebla.

El desarrollo de proyectos en sistemas de alumbrado requiere de un estudio bien definido y libre de errores en su diseño, de lo contrario derivarían en la elevación de costos por concepto de rediseño, malas condiciones de iluminación e incumplimiento de normas nacionales. Es por ello que los diseñadores de sistemas de alumbrado hacen uso de paquetes computacionales que permitan simular el entorno o espacio iluminado en respuesta a distintas fuentes de luz artificial y su ubicación en distintos puntos del espacio iluminado. Dichos paquetes computacionales han sido desarrollados sólo por empresas extranjeras, a costo muy elevado y sin referencia a normas mexicanas.



SIMCLI es un software creado para ser distribuido en forma gratuita, lo cual no desmerita su calidad, y ofrece herramientas de diseño y simulación basado en los procedimientos Punto a Punto, Línea a Punto y Superficie a Punto de la IESNA para el cálculo de la componente directa, y del Factor de Forma para la determinación de la componente interreflejada o indirecta. Además determina los indicadores de calidad del sistema simulado y los evalúa con respecto a lo señalado en las Normas Oficiales Mexicanas NOM-025-STPS-1999 y NOM-007-ENER-1995, obteniendo resultados en pantalla y en reportes impresos que permiten identificar las carencias del sistema y su posible cumplimiento normativo.

Fundamentos teóricos

Naturaleza de la luz. La luz es una radiación electromagnética. El espectro electromagnético incluye desde los rayos gamma hasta las ondas de radio. La luz visible está formada por vibraciones electromagnéticas con longitudes de onda que van aproximadamente de 350 a 750 nanómetros. La luz se forma por saltos de electrones en los orbitales de los átomos. Como sabemos, los electrones se mueven en determinados orbitales sin consumir energía y cuando caen a un orbital inferior de menor energía (más próximo al núcleo) emiten energía en forma de radiación. Algunos de esos saltos producen radiación visible que llamamos luz, radiación que ven nuestros ojos en su manifestación de color [1].

Percepción de la luz. El ojo humano. El ojo humano es un sistema óptico formado por un dioptrio esférico y una lente, denominados córnea y cristalino respectivamente, y son capaces de formar una imagen de los objetos sobre la retina que es la superficie interna del ojo sensible a la luz. El cristalino enfoca las imágenes sobre la retina, esta contiene fibras nerviosas (prolongaciones del nervio óptico) que terminan en unas pequeñas estructuras denominadas conos y bastones muy sensibles a la luz. De la retina salen millones de nervios que conforman un solo canal denominado nervio óptico que lleva la información al cerebro [2].

Principios Básicos de Cálculos de iluminación [3]. Para la determinación de componentes de

iluminación de una fuente luminosa a un punto la IESNA propone el uso de modelos matemáticos de transferencia de flujo categorizados en seis tipos distintos de acuerdo a la geometría y emisión de la lámpara o luminaria. Estos métodos, combinados con la información de reflectancias de cuarto, permiten simular la iluminancia a un punto.

1. Transferencia de Flujo Luminoso por Modelo Punto a punto. La iluminancia E producida sobre un área A centrada en un punto P es directamente proporcional a la intensidad luminosa de la fuente de luz, $I(\theta, \psi)$. Dada la distribución de intensidad luminosa de la fuente de luz en coordenadas esféricas, la disposición geométrica del modelo se muestra en la figura 1.

La Iluminancia E está definida en términos del flujo luminoso incidente Φ sobre un área A :

$$E = \frac{\Phi}{A} \quad (1)$$

El flujo puede ser analizado direccionalmente en términos del ángulo w . Si el origen del sistema de coordenadas esféricas está localizado en la fuente y el área A es pequeña en comparación de la distancia D , entonces:

$$w = \frac{A}{D^2} \cos \xi \quad (2)$$

Donde:

D = distancia entre la fuente y el punto P

ξ = ángulo entre la normal \hat{n} a la superficie A y en dirección de la distancia D .

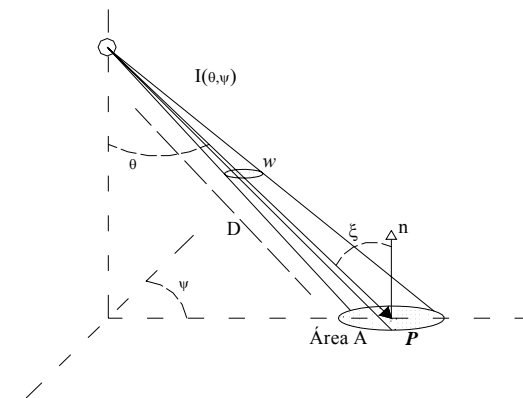


Figura 1. Disposición Geométrica de la Ley coseno de la inversa cuadrada.



La definición de la intensidad luminosa resulta de la combinación de las ecuaciones 1 y 2 y permite determinar también el flujo luminoso:

$$I(\theta, \psi) = \frac{\Phi}{w}$$

$$\Phi = I(\theta, \psi)w \quad (3)$$

Sustituyendo en la ecuación 1 se obtiene:

$$E = \frac{I(\theta, \psi)w}{A}$$

y sustituyendo en la ecuación 2 se tiene:

$$E = \frac{I(\theta, \psi) \cos \xi}{D^2} \quad (4)$$

La ecuación 4 es la ecuación fundamental de transferencia de flujo luminoso, también llamada Ley coseno de la inversa cuadrada.

2. Transferencia de Flujo luminoso por Modelo Área/línea difusa a punto. El cálculo de iluminación se hace usando indirectamente la ecuación 4. Se parte de la idea de concebir a la luminaria superficial como un conjunto de elementos diferenciales dA que son considerados en forma independiente como fuentes de luz puntuales. De acuerdo a la IESNA, la ecuación general para determinar la iluminancia a un punto debida al total de la luminaria está dada por:

$$E = Mc \quad (5)$$

donde M es la exitancia de la fuente al conjunto de los elementos diferenciales dA .

Por exitancia debemos entender la cantidad de luz emitida por unidad de superficie. Y la variable c se describe algebraicamente como:

$$c = \frac{1}{\pi} \int \frac{\cos \theta \cos \xi}{D^2} dA \quad (6)$$

c se conoce como factor de configuración y se define como la fracción del total de flujo emitido por un diferencial de fuente superficial que es recibido directamente por un punto.

3. Transferencia de Flujo Luminoso por Modelo Área/línea no difusa a punto. Cuando esto se presenta la IESNA propone que la distribución de la intensidad luminosa de algún elemento diferencial de la fuente lineal de luz, $dI(\theta, \psi)$, es proporcional a la distribución de intensidad luminosa, $I(\theta, \psi)$,

de la luminaria completa. La ecuación general para calcular la iluminancia a un punto debida a la luminaria completa por este método es la siguiente:

$$E = \frac{1}{A} \sum_i I(\theta_i, \psi_i) \cos \xi_i \frac{a_i}{D_i^2} \quad (7)$$

Donde la sumatoria comprende todas las áreas discretas de la luminaria, y:

$I(\theta_i, \psi_i)$ = intensidad de la i ésima pieza de la superficie de la luminaria al punto P .

ξ_i = ángulo incidente para el flujo de la i ésima pieza de la superficie de la luminaria.

a_i = área de la i ésima parte de la superficie de la luminaria.

D_i = distancia entre la i ésima pieza de la superficie de la luminaria y el punto P .

A = área de la superficie de la luminaria.

Tipos de Distribución luminosa. Con propósitos computacionales la distribución de la intensidad luminosa es considerada difusa o no difusa. Si la luminaria tiene una distribución de intensidad luminosa dada por $I(\theta, \Psi)$, y si la relación

$$\frac{I(\theta, \varphi)}{I(0^\circ, 0^\circ) \cos(\theta)} \quad (8)$$

difiere de 1.0 por más del 10% para cualquiera de las intensidades, entonces la distribución es considerada como no difusa.

Regla de las cinco veces. La IESNA, a través de estudios estadísticos, determinó que las mediciones a equipos de iluminación tienden a ser erróneas cuando las pruebas se hacen a una longitud menor a cinco veces la dimensión más grande de la luminaria por lo que al elegir el tipo de geometría de luminaria (puntual, lineal o superficial) esto debe tenerse presente [4].

Desarrollo del Simulador

El Simulador fue programado en Visual Basic 6. La programación en VB6 está orientada a objetos, lo que permite crear una agradable interfaz gráfica con el usuario apoyada en los procedimientos escritos con el clásico lenguaje BASIC [5].



Para el desarrollo del sistema se utilizaron los algoritmos propuestos por la IESNA para el cálculo de iluminancia a un punto en el plano de trabajo debido a una fuente de luz artificial tipo puntual, superficial o lineal; además se determina la componente interreflejada debido a la geometría y reflexión de los muros. El proceso de simulación está dividido en cinco etapas:

1. Introducción de datos de cuarto.
2. Introducción de datos de luminarias.
3. Selección de características.
4. Cálculo de componentes (Directa e Interreflejada).
5. Mostrar resultados.

La primera etapa requiere de las dimensiones de cuarto para iniciar el proceso de comparación de la regla de las cinco veces; su entorno de trabajo, se muestra en la figura 2.

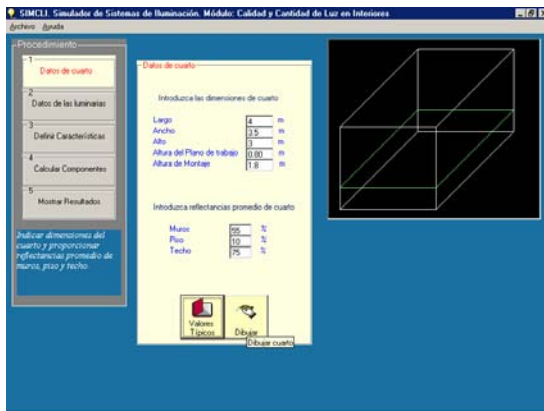


Figura 2. Entorno de trabajo de la primera etapa del simulador

La segunda etapa requiere de todos los datos referentes a las luminarias que se utilizarán (fotometrías), el sistema permite hasta tres tipos distintos de luminarias y número ilimitado de luminarias en total. Las fotometrías deben ser incluidas por el usuario utilizando la base de datos de luminarias típicas o por medio archivos electrónicos con extensión *.ies proporcionados por diversos fabricantes de luminarias y normalizados por el estándar IES/ANSI LM-63-1995 [6]. La inclusión de estos datos permite seleccionar el método de simulación de acuerdo a la geometría de la luminaria y del cuarto. En la figura 3 se muestra el entorno de trabajo para manipular las fotometrías.

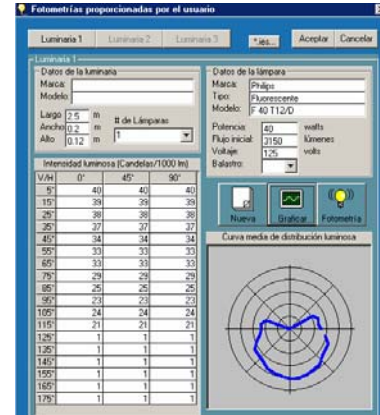


Figura 3. Manipulación de fotometrías

La tercera etapa permite al usuario indicar el número de luminarias que simulará y su ubicación en el espacio, también le permite elegir el nivel de iluminación en base a la NOM-025-STPS-1999 [7] y a otras herramientas que se le proporcionan, como el Método de la Categoría de Iluminación de la IESNA. El usuario también debe elegir el tipo de espacio y de control de su sistema de iluminación de acuerdo a lo descrito en la NOM-007-ENER-1995 [8] y verificar su cumplimiento. En la figura 4 puede verse la ventana de trabajo que corresponde a esta etapa.

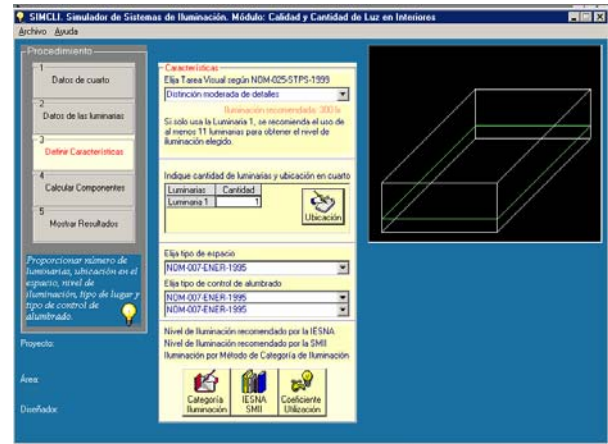


Figura 4. Tercera etapa de simulación

En la cuarta etapa se calcula la componente directa y, de manera opcional, la componente interreflejada de la iluminancia a cada uno de los puntos de la superficie simulada, al usuario se le permite indicar el número de puntos que desea que



sean simulados (desde 10 hasta 32 500) y encender y apagar luces.

En la quinta etapa el simulador entrega los siguientes resultados:

Cálculo de la iluminancia media al plano de trabajo.

Cálculo de la iluminancia a un conjunto de puntos en el plano de trabajo.

Cálculo de los indicadores de calidad del sistema de iluminación.

Verificación de la NOM-025-STPS-1999, sólo en diseño.

Verificación de la NOM-007-ENER-1995, sólo en diseño.

Presentación gráfica de la superficie distribución luminosa.

Presentación gráfica del comportamiento de la luz al plano de trabajo (Figura 5).

usuario doméstico y que el consumo de energía eléctrica es proporcional al rendimiento lumínico.

Referencias

[1] Villasuso Gato, José. “¿Qué es la luz?” Física recreativa. IES Monelos. Coruña, España. 2004. Disponible en línea: www.edu.aytolacoruna.es

[2] Guyton, Arthur C. “Tratado de Fisiología Médica”. Segunda Edición. Editorial Interamericana. México. 1965.

[3] IESNA. “Lighting Handbook.” Illuminating Engineering Society of North America. 9th. Ed. New York. 2000.

[4] Martínez Vargas, Felipe. “Apuntes de la materia Proyectos de Iluminación”. Instituto Tecnológico de Puebla. México. 2004. No publicado.

[5] Ceballos Sierra, Fco. Javier. “Visual Basic 6. Curso de Programación.” Segunda Edición. Alfaomega-RaMa. España. 1999.

[6] IESNA. “IESNA Standard LM-63. File Format for Electronic Transfer of Photometric Data” Illuminating Engineering Society of North America. New York. 1995.

[7] DGN. “NOM-025-STPS-1999. Condiciones de iluminación en centros de trabajo”. Dirección General de Normas. D.F., México. 1999.

[8] DGN. “NOM-007-ENER-1995. Eficiencia energética en sistemas de alumbrado para edificios no residenciales”. Dirección General de Normas. D.F., México. 1995.

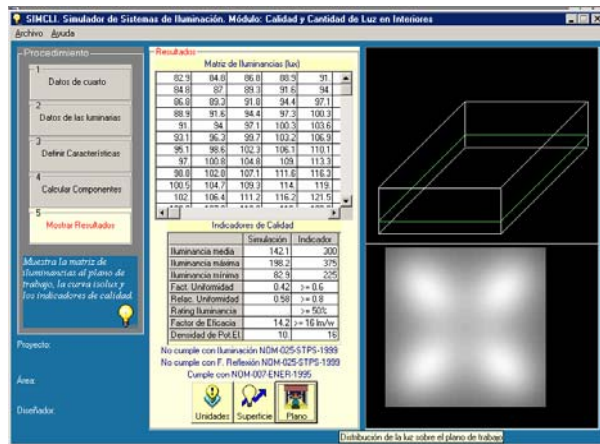


Figura 5. Etapa de resultados de simulación

Conclusiones

El Simulador de Sistemas de Iluminación. Módulo: Cantidad y Calidad de Luz en Interiores está basado en procedimientos de cálculo internacionales que, de acuerdo con la IESNA, tienen un margen de error de $\pm 5\%$, al igual que otros simuladores ofrece resultados gráficos e indicadores de calidad, sin embargo éste es el primer simulador de origen académico que, a diferencia de los otros, permite simular sistemas de iluminación interiores en función de Normas Oficiales Mexicanas, con lo que se asegura que el diseño de sistemas de iluminación no pone en riesgo al trabajador mexicano o al

Humberto García Flores

Egresado de la licenciatura en Ingeniería Eléctrica en el Instituto Tecnológico de Puebla.

Contacto: hgarflo@gmail.com