

# CALCULO DE ILUMINACION NATURAL EN AULAS

## *Informe de avance*

Juan Carlos Rall \*

Centro de Estudios del Ambiente Humano  
Facultad de Arquitectura, Planeamiento y Diseño  
Universidad Nacional de Rosario

Riobamba 220 bis - 2000 ROSARIO (Sta. Fe)  
República Argentina

## RESUMEN

Se presenta un programa para calcular los niveles de iluminación que se alcanzan sobre la superficie de trabajo de un aula en distintos instantes del día, gracias al aporte energético que ingresa por las ventanas y se refleja en las superficies interiores. Es aplicable a cualquier latitud, fecha y orientación, permitiendo una amplia variedad de conformaciones y protecciones del vidriado, el que puede ser tanto vertical como inclinado.

## INTRODUCCION

Uno de los temas todavía bastante descuidados en nuestro medio, es el del aprovechamiento de la radiación solar para iluminar los espacios construidos. En la mayoría de los casos se sigue proyectando intuitivamente o se proponen soluciones basadas en los tradicionales modelos que utilizan la bóveda celeste como única fuente, con el resultado -en este caso- de ventanas más grandes de lo necesario. Las consecuencias son bastante lamentables no sólo desde el punto de vista lumínico (niveles inadecuados, deslumbramiento, falta de uniformidad), sino en los aspectos energéticos globales, ya que por desconocimiento u olvido de que la luz solar no es gratuita, al sobredimensionar las aberturas, se incrementa innecesariamente el intercambio térmico con el exterior y con ello el grado de insatisfacción y los gastos para acondicionar. En edificios en que además, por falta de previsión, mantenimiento o recursos, los sistemas de climatización y alumbrado artificial son deficientes, y en que por otra parte deban desarrollarse tareas visuales que demanden cierto grado de exigencia, el diseño ajustado de la iluminación natural debiera ser prioritario. Es el caso de las aulas de nuestras escuelas públicas.

## ETAPAS DE PROYECTO

Durante el proceso de proyecto de la iluminación natural de un local pueden distinguirse cuatro posibles etapas sucesivas:

- a. Intuitiva, en que el diseñador plantea un esquema básico a partir de su propia experiencia y del conocimiento de unas pocas reglas empíricas (características de las superficies reflectoras exteriores e interiores, predimensionado de las aberturas y ubicación tentativa de las mismas). En la mayoría de los proyectos éste es el único paso que se efectúa.
- b. Gráfica, definiendo las protecciones exteriores para controlar el ingreso de la radiación directa y dando un primer ajuste a las dimensiones del ventanaje.
- c. De simulación, aprovechando especialmente la ventaja que brinda el ordenador al poder comparar distintas situaciones espacio-temporales con rapidez y economía.
- d. De modelado tridimensional en escala, que finalmente permite estudiar situaciones formales complejas, cuantificándolas mediante mediciones fotométricas directas, posibilitando además juicios cualitativos mejor fundados.

\* Investigador del Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Rosario

## EL PROGRAMA

El programa que aquí se describe responde a los requerimientos de la tercera etapa antes mencionada y ha sido elaborado en lenguaje QBasic para facilitar el acceso del usuario. Se describen sucintamente los pasos principales que lo componen, adjuntando un diagrama de flujo del sistema para facilitar su seguimiento (fig. 1):

1. **Determinación de la densidad superficial de flujo luminoso que llega a la superficie vidriada.** Esta primera parte se realiza mediante un programa presentado tiempo atrás <sup>(1)</sup> y del cual el que ahora comentamos es una extensión. A partir de los datos de las obstrucciones exteriores y de las características del ventanaje entrega los valores de iluminancia (lux) que alcanza, de acuerdo a una secuencia temporal que se puede elegir. Supone que ese plano semitransparente se ha completado con difusores internos que impiden el ingreso de los rayos directos, por ser considerados inaceptables sobre la superficie de trabajo. La reseña del modelo, los algoritmos y los rendimientos utilizados también ya fueron expuestos con anterioridad <sup>(1,2)</sup>.
2. **Dimensiones del aula.** Comienza el programa propiamente dicho al solicitar las tres longitudes principales del ortoedro que representará al local.
3. **Ubicación de las ventanas.** Dentro del sistema tridimensional, se destina uno de los planos para fijar la posición de cada ventana, de la que se piden las coordenadas de uno de sus vértices. En el estado actual de elaboración, en caso de tener aberturas de diferentes tipos o un sistema de iluminación multilateral, deberán hacerse estudios parciales y proceder a la sumatoria de los resultados.
4. **Separación de los nodos.** Habiéndose planteado la solución del problema a partir de la interreflexión de las superficies interiores del local y teniendo en cuenta la falta de uniformidad en la luminancia de cada una de éstas, se optó por el método de subdividir las en elementos menores, que por simplificación se consideran difusores perfectos, debiendo ingresarse el valor deseado de separación entre sus baricentros (nodos). En la práctica esta distancia estará limitada por la cantidad de memoria accesible, el grado de aproximación que se quiera lograr y el tiempo de cálculo que se considere razonable.
5. **Coordenadas de los nodos.** Una rutina se encarga de calcularlas, de modo tal que resulten equidistantes en los tres ejes, habiendo delimitado previamente la altura útil del local como la distancia entre el cielo raso y la superficie de trabajo. En adelante el término nodo identificará tanto a esos puntos como a las porciones de superficie que representan.
6. **Cálculo de los factores angulares** definidos por cada par de nodos que se "ven" entre sí (incluyendo las ventanas). Con este paso termina la parte de estudio geométrico. Es el de mayor consumo de tiempo de cálculo, que dependerá de la cantidad de nodos y de la velocidad de la máquina que se utilice. Los factores angulares se calculan con variantes de las conocidas fórmulas<sup>(3)</sup>:

$$F = \operatorname{tg}^{-1} \frac{c}{a} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}} \operatorname{tg}^{-1} \frac{c}{\sqrt{a^2 + b^2}} \quad [1]$$

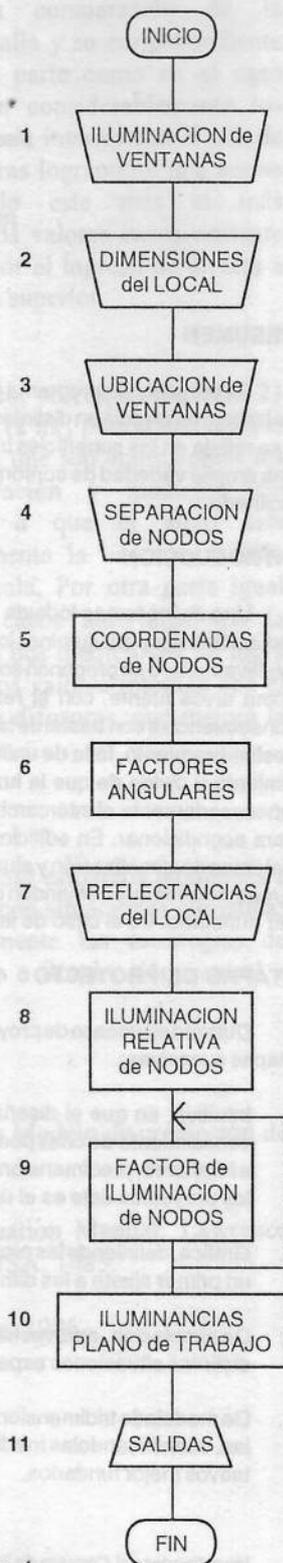


fig. 1

$$F = \frac{2b}{\sqrt{a^2 + b^2}} \operatorname{tg}^{-1} \frac{c}{\sqrt{a^2 + b^2}} + \frac{2c}{\sqrt{a^2 + c^2}} \operatorname{tg}^{-1} \frac{b}{\sqrt{a^2 + c^2}} \quad [2]$$

en que  $b$  y  $c$  son las dimensiones del elemento "visto" y  $a$  su distancia hasta el nodo desde el que es observado. La fórmula [1] es para el caso en que este último pertenezca a un plano perpendicular al primero, mientras que la [2] se aplica cuando ambos son paralelos entre sí.

7. **Reflectancias.** El programa propone las que se consideran aconsejables para las superficies habituales de un aula común. En caso de querer cambiarlas deberán alterarse las sentencias correspondientes dentro del listado, y está planteado de este modo porque resultaría tedioso hacerlo mediante el actual mecanismo de diálogo con que está estructurado.
8. **Cálculo de la iluminación relativa de cada nodo** debida al aporte único de las ventanas. Esta operación se realiza considerando que la superficie exterior del vidriado recibe un valor unitario (adimensional), y consiste en sumar para cada uno de aquellos puntos los factores angulares correspondientes a las ventanas que "ve".
9. **Cálculo del factor de iluminación de cada nodo** por contribución de los demás (incluyendo ventanas), en un proceso iterativo en que los valores crecen asintóticamente. El usuario puede fijar el número de bucles que desea, pero en la práctica se ha encontrado que con cinco repeticiones los incrementos se reducen de modo suficiente, así que ese número es que se propone por defecto. Nuevamente el aporte de las ventanas es unitario y las operaciones que se realizan para cada nodo respecto a los que "ve" son sumatorias del producto de las reflectancias por los factores de iluminación y angular de los nodos "vistos".
10. **Illuminancias sobre el plano de trabajo** (en lux). Por último, para cada nodo del plano de trabajo se obtiene el resultado buscado mediante la multiplicación del factor de iluminación logrado en el paso anterior por el valor de iluminación de las ventanas obtenido en el primer ítem, quedando así concluida la etapa de cálculo.
11. **Salidas.** Como el programa está en proceso de desarrollo, sólo ha incorporado una salida provisoria en pantalla con los valores numéricos distribuidos con referencia a la ubicación del pizarrón. En caso de necesitarse otra forma de visualizarlos, es muy fácil trasladar la matriz resultante a un graficador, como en el ejemplo que se acompaña (fig.2).

Las representaciones tridimensionales resultan particularmente interesantes, ya que si bien son algo menos precisas, entregan una imagen elocuente que permite diagnosticar de inmediato los puntos débiles del proyecto

En este caso se ha elegido en forma deliberada, una situación común de iluminación unilateral de un salón cuadrado (7 m de lado y 3.4 m de alto) mediante

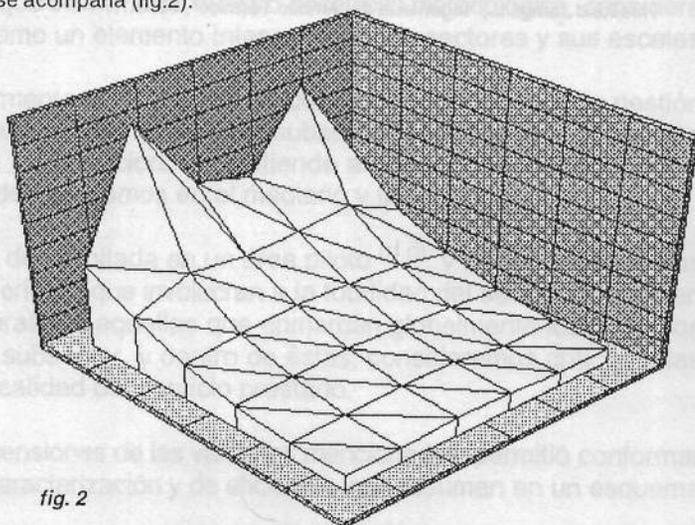


fig. 2

dos ventanas separadas (cada una de 1.2 m de ancho y 2.4 m de altura). Para graficarla se dispuso un reducido número de nodos (36 sobre el plano horizontal) para mayor claridad de la imagen impresa.

Sin la pérdida de tiempo que demandaría el análisis de la matriz numérica correspondiente puede observarse lo incorrecto de la solución por la falta de uniformidad en la distribución de la luz, aunque los valores de iluminancia sean adecuados (nivel inferior y pasos sobre eje  $z$ : 0.2 klx).

## COMENTARIOS FINALES

En su estado actual el programa presenta una gran simplificación del entorno y no tiene en cuenta la contribución de las superficies exteriores (insoladas y en sombra) ni la reflexión en los planos de parasoles, considerando sólo la radiación debida a sol y cielo. En cuanto a la configuración de los locales, únicamente resuelve los casos en que los planos son paralelos y perpendiculares entre sí. Tampoco se ha incorporado iluminación cenital ni por bandejas reflectantes. Todas estas mejoras están previstas en la continuación del trabajo.

Como se puede constatar, la parte operativa es bastante sencilla en general, salvo en el cálculo de factores angulares, en que la manipulación de un buen número de grandes matrices multidimensionales demanda una serie de estrategias para reducir los tiempos de ejecución y utilizar menor cantidad de memoria para permitir el incremento del número de nodos posible de calcular.

Quizá sea necesario aclarar el sentido de haber emprendido un trabajo de esta índole cuando ya existen a nivel mundial otros programas dedicados al mismo tema. Estos son algunos de los motivos:

Necesidad de un programa al que se pueda acceder con facilidad para conocer por completo la herramienta con que se trabaja y poder modificarla a voluntad, tanto en el ajuste o sustitución del modelo en que se basa, como en el aumento de la complejidad formal del local, del sitio en que está emplazado y, sobre todo, del elemento vinculante: la ventana, en un intento permanente de aproximación a la realidad.

Que se pueda integrar con otros que abarquen otros aspectos de la Física de la Construcción (térmicos, acústicos y de infraestructura relacionada).

## REFERENCIAS

1. Rall J.C.; "Cálculo de irradiación de planos y ventanas por cielos de diversa turbidez, mediante ordenador"; XIV Reunión de Trabajo de ASADES; Mendoza, 1989.
2. Rall J.C.; "Gráficos de iluminancias para cielos de distinta turbidez"; Actas de la 15ª Reunión Nacional de Energía Solar y Fuentes Alternativas; Catamarca, 1992.
3. Threlkeld James L.; "Ingeniería del Ambito Térmico", 1973.

