

## MODELIZACION TERMO-LUMINICA DE PRECISION PARA PROTECCIONES SOLARES EN EDIFICIOS PUBLICOS

**R. Ajmat<sup>1</sup>**

Instituto de Acondicionamiento Ambiental  
Facultad de Arquitectura y Urbanismo  
Universidad Nacional de Tucumán

Tel. 0381-4364093- int. 7946 – Fax 0381-4364141 e-mail: [rfajmat@hotmail.com](mailto:rfajmat@hotmail.com)

**RESUMEN:** La simulación térmica de ventanas se realiza a menudo con gran precisión mientras que las predicciones tanto de radiación como las de iluminación se realizan con aproximaciones imprecisas. El presente trabajo exhibe estudios paramétricos de protecciones solares en edificios públicos. El objetivo del mismo es presentar una metodología de evaluación de protecciones solares desde el punto de vista lumínico abarcando tanto los aspectos del confort visual como del ahorro energético para distintas orientaciones y aplicable a distintos climas. La misma se basa en el uso de datos climáticos horarios anuales. Utilizando los valores de radiación se deducen las condiciones de sol y cielo y se obtienen valores de iluminancia y radiación en puntos identificados como fotocélulas virtuales sobre los planos de trabajo a considerar. El post-procesamiento de los resultados obtenidos permite evaluar alternativas de diseño de protecciones desde el punto de su influencia en el consumo energético anualizado. A la luz de los resultados obtenidos se puede inferir que los aspectos del diseño de protecciones así como aquellos que involucran el comportamiento de los usuarios resultan significativos desde el punto de vista energético y deben contemplarse desde las primeras etapas del proyecto.

**Palabras clave:** protecciones solares, simulación, iluminación natural, cargas térmicas, consumo energético.

### INTRODUCCION

El diseño consciente de aventanamientos en edificios ha comprobado ser de importancia desde el punto de vista de la salud (Kuller, 1981 y 1992), el comportamiento (PGE&Co, 1999) (Tonello, 2001), la productividad laboral (Roche et al, 2000) y los ahorros energéticos (Soebarto et al, 1994). La necesidad de un conocimiento y predicción más precisos sobre el comportamiento y rendimiento de los mismos –los aventanamientos- es particularmente importante desde el punto de vista del consumo energético.

Las tendencias en la arquitectura internacional han conducido hacia el uso de fachadas con grandes superficies vidriadas sin consideraciones de localidad u orientación (Dubois, 01). El sombreado de los aventanamientos se convierte en estos casos en una preocupación de los primeros estadios del proceso de diseño para obtener beneficios en el uso de la energía (calefacción, refrigeración e iluminación) y en la generación de un ambiente visual de calidad. Las herramientas informáticas permiten hoy no sólo describir con precisión las características fotométricas de un local sino realizar cálculos detallados de iluminación basados en datos climáticos horarios. Este trabajo apunta a conseguir realismo y por lo tanto precisión en la simulación termo-luminica de espacios interiores (Galasiu y Morad, 2002).

Las vinculaciones entre *Radiance* y un programa de calculo térmico ya han sido probados en investigaciones previas (Janak, 2003; Herkel, 1997; Janak et al, 1999). Herkel describe un método de condiciones de cielo para cálculos dinámicos; Janak utilizó *Radiance* para predecir series de valores de radiación que sirvieran a ESP-r para un análisis térmico. En contraste con ese trabajo, aquí se utiliza un modelo en 3D sólo para la simulación con *Radiance*, expandiendo esa idea para obtener predicciones de iluminación natural y utilizando el concepto iluminancia natural útil para la evaluación de la provisión del mencionado recurso.

Este trabajo propone una metodología para la realización de estudios predictivos del consumo eléctrico destinado a iluminación artificial en edificios públicos con parasoles exteriores. La misma se basa en el uso de datos climáticos horarios anuales. Utilizando los valores de radiación se deducen las condiciones de sol y cielo y se obtienen valores de iluminancia en puntos identificados como fotocélulas virtuales sobre los planos de trabajo a considerar.

Esta metodología utiliza el concepto de Coeficientes de Iluminación Natural (Tregenza et al, 1983; Littlefair, 1992) y del Sistema extensivo de predicción de iluminación natural –XDAPS-, (eXtensible DAYlighting Prediction System) propuesto por Mardaljevic (Mardaljevic, 2000A) para el cálculo de coeficientes de iluminación e iluminancia basado en versión de entorno UNIX del programa *Radiance* y rutinas de programas para usuarios expertos. El mismo ha sido validado para condiciones de cielo real utilizando las bases de datos obtenidas por el BRE (Building Research Establishment, Reino Unido) probando ser de gran precisión. La formulación detallada de los mismos esta dictada por los propios algoritmos que usa el

---

<sup>1</sup> Docente e Investigador CIUNT

programa *Radiance*. Tres matrices diferentes de coeficientes de iluminación son computadas usando programas escritos por usuarios de IDL (Interactive Data Language) y Unix C-shell.

Los Coeficientes de Iluminación Natural son específicos para cada geometría, no así para las variaciones de orientación y tipos de cielo. Esto los hace apropiados para el análisis de una misma protección en distintas situaciones sin necesidad de recalcular los condicionamientos climáticos, de orientación o de latitud. De esta forma la variación de posición de protecciones, sus dimensiones y posición angular, pueden evaluarse con resultados de precisión.

Rutinas escritas a medida por el usuario para analizar las iluminancias internas (Nabil y Mardaljevic, 2005) y algoritmos que representan el esquema de control de uso de la iluminación artificial permiten predecir consumos energéticos anualizados (Ajmat et al, 2005). Esta metodología permite analizar diseños alternativos durante las primeras etapas del proceso de diseño atendiendo al futuro consumo energético que dichas soluciones generaran.

## METODOLOGIA

La metodología utilizada en este trabajo

La radiación solar proveniente del sol y del cielo puede ser uno de los flujos de mayor importancia en la simulación de edificios influenciando tanto el comportamiento térmico como lumínico. Esto es de particular relevancia para aquellos edificios en los que, los aventanamientos pueden jugar un rol de importancia como parte de su fachada (edificios públicos en particular). Para realizar una predicción térmica y lumínica confiable, es necesario contar con un patrón de luminancia del cielo basado en datos climáticos reales. La consideración de la radiación solar reflejada proveniente del sol y del cielo puede ser significativa al estimar la radiación solar transmitida, en particular si se tienen en cuenta todas las superficies circundantes; por ejemplo edificios cercanos, el suelo, los propios antepechos o parasoles, etc.

Donde los programas de simulación son más débiles a la hora de sus predicciones es al utilizar aproximaciones en presencia de protecciones solares exteriores. La práctica común es calcular la visión de bóveda para algún día del mes en particular pero rara vez para cada hora del año. Para radiación difusa, se utilizan distintas aproximaciones tomando un cielo uniforme y estimando la radiación proveniente de la obstrucción mediante algún algoritmo empírico más que por la modelización del camino de los rayos. Estas estimaciones pueden generar imprecisiones. Por otro lado cuando se calculan las contribuciones de iluminación natural en programas de cálculo térmico la magnitud y distribución de la iluminación natural interior se realiza, por lo general, sin una modelización explícita de las múltiples reflexiones que pueden producirse.

Esta metodología propone utilizar un híbrido de dos programas de cálculo ya validados mediante mediciones: uno basado en los coeficientes de iluminación natural de Tregenza junto a un simple modelo de nodos basado en el trabajo de Crabb et al. La ventaja de este 'híbrido' se encuentra en la precisión del método de los coeficientes de iluminación natural para calcular tanto iluminancia como radiación y la simplicidad de implementación del modelo nodal en los primeros estadios del diseño. A continuación se presenta un esquema del modelo híbrido

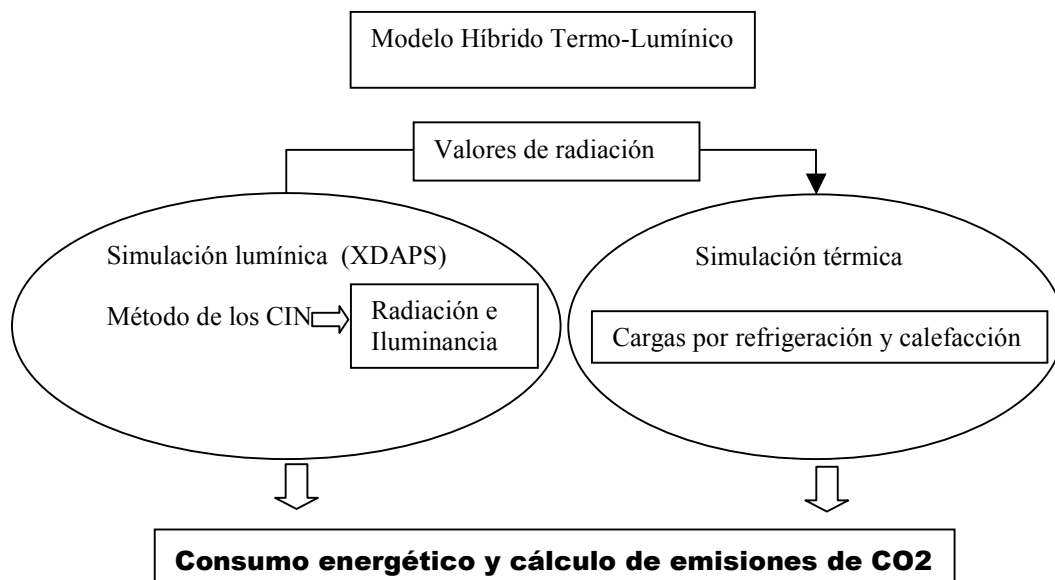


Figura 1 Esquema de Modelo Híbrido

### Modelo de Simulación lumínica

Esta basado en un modelo presentado originalmente como XDAPS (eXtensible DAYlighting Prediction System), Sistema extensivo de predicción de iluminación natural (Mardaljevic, 2000A). Este sistema utiliza los coeficientes de iluminación

natural y el sistema de simulación de iluminación *Radiance*. La formulación original de Madaljevic fue validada con condiciones de cielo real utilizando la base de datos BRE-IMDP<sup>2</sup> probando ser de gran precisión. Los datos que se obtienen de este programa son valores de iluminancia y radiación, los valores de iluminancia se utilizan luego para realizar predicciones de utilización de iluminación artificial basadas en datos climáticos y preferencias y comportamiento de usuarios.

#### Modelo de simulación térmico

El modelo utilizado para las simulaciones térmicas es un modelo de nodos simplificado basado en el programa de cálculo conocido como EXCALIBUR desarrollado por Crabb, Murdoch y Penman (Crabb et al., 1987). En su versión original fue diseñado como de zona única, en este trabajo se lo utilizó ya modificado como para actuar con particiones internas o multizonal.

#### Modelo Híbrido termo-luminico

Tal como se esquematizara en *Figura 1* el híbrido conformado por los dos programas realiza un aserie de operaciones que se vinculan para producir los datos resultados y el post-procesamiento de los mismos para realizar la evaluación del comportamiento termo-luminico de los locales analizados.

En la *Figura 2* se muestra un diagrama de flujo completo del procedimiento seguido por el híbrido. El primer paso del proceso comienza por originar el modelo geométrico denominado base a través de comandos de *Radiance*. La versión Unix de *Radiance* permite especificar detalles de los parámetros del edificio de una forma más eficiente. Mediante el uso de programas C-shell se puede automatizar la producción a fin de realizar estudios paramétricos, por ejemplo adicionando diferentes protecciones solares al modelo 'base'. Una vez que el modelo geométrico se encuentra terminado, se pueden calcular series de Coeficientes de Iluminación Natural para puntos sobre el 'plano de trabajo': estos pueden ubicarse organizados por una grilla: una horizontal para el cálculo de iluminancia y una vertical para los valores de radiación ingresante.

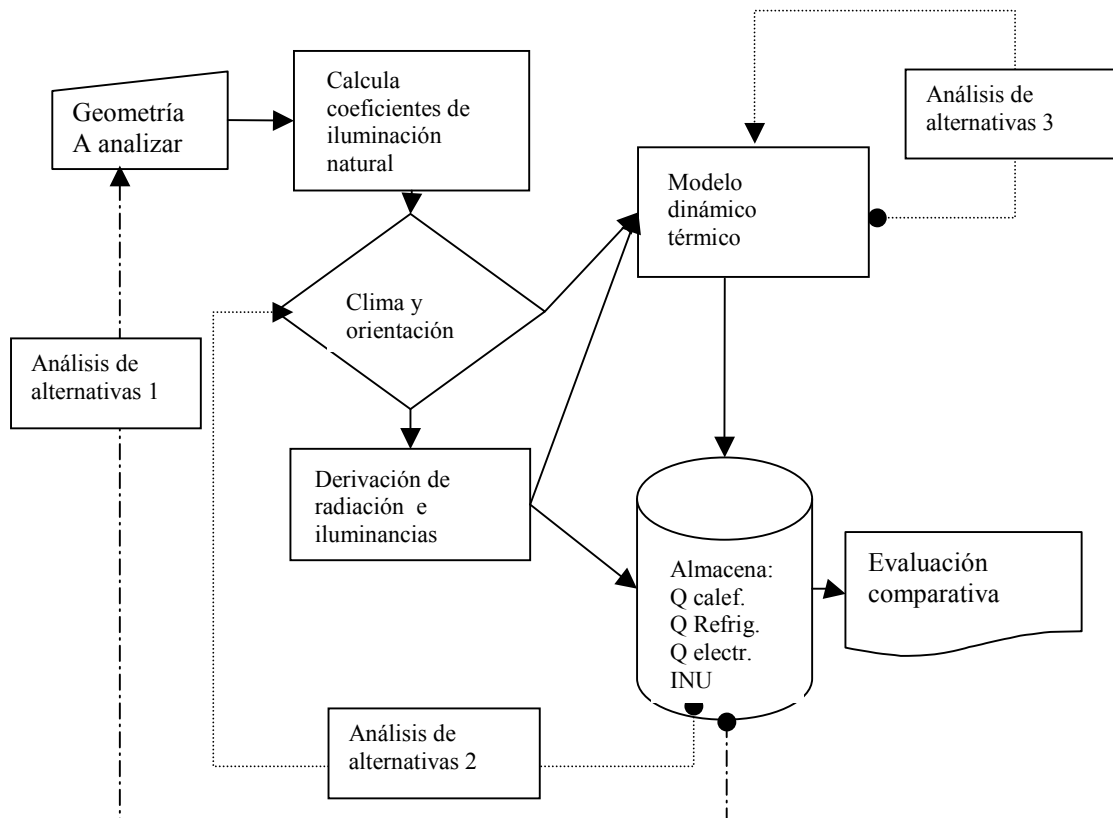


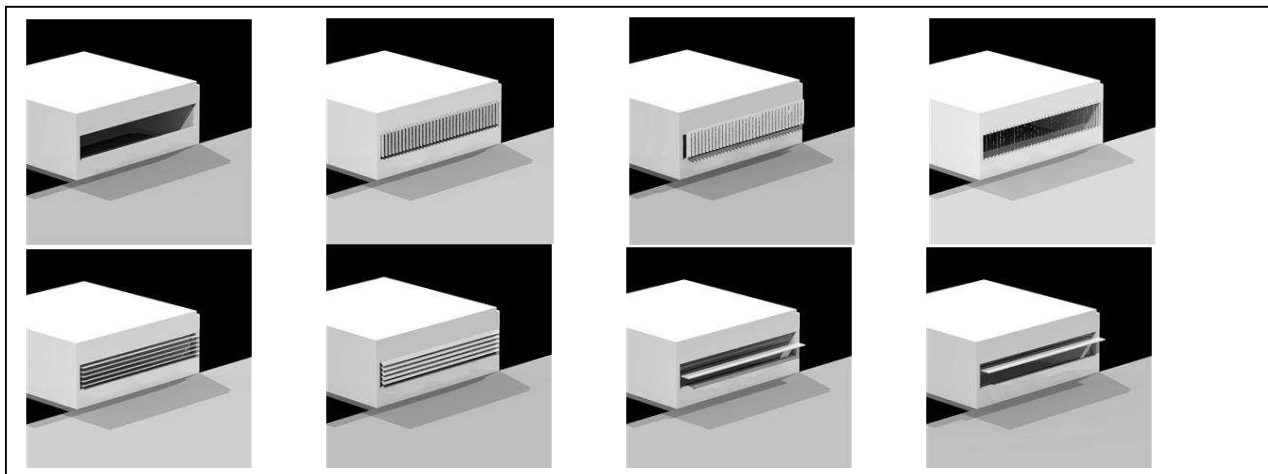
Figura 2: Diagrama de flujo de los procedimientos llevados a cabo por el modelo híbrido

#### EXPERIMENTO:

Los Coeficientes de Iluminación Natural se han calculado para los casos típicos estudiados de locales de siete por siete metros de ancho y largo y dos metros con setenta cms. de altura, con ventana corrida y protegida exteriormente en uno de los lados. Se analizan ocho alternativas de protección: desde la opción de no utilizar protección alguna, pasando por lamas

<sup>2</sup> IMDP (International Daylight Measurement Programme-Programa Internacional de Medición de Iluminación Natural) implementado por la CIE (Comisión Internationale de l'Éclairage- Comisión Internacional de iluminación) para registrar series de datos de larga duración para una variedad de parámetros de la iluminación natural. El BRE (Building Research Establishment-) fue una de las estaciones que registró distribución de luminancias de cielo.

horizontales paralelas entre si en dos ángulos  $-0^\circ$  y  $45^\circ$ ; lamas verticales en tres posiciones  $45^\circ$  hacia la izquierda,  $0^\circ$  esto es perpendicular al plano de la ventana y rotadas  $45^\circ$  hacia la izquierda (ver *Figura 3*). Se ubicaron ‘fotocélulas virtuales’ sobre una grilla de 36 puntos sobre el plano de trabajo considerado. La distancia de la grilla desde los muros perimetrales es de 1 m. y también lo es la distancia de los puntos entre si. Con los datos de radiación horaria anual se seleccionan aquellas horas donde la radiación es mayor que cero, resultando alrededor de 4000 horas según el caso considerado. Se calcula la posición geográfica del sol para la localidad en cuestión y con un factor de conversión (120 lúmenes/ watt tomado como fijo para este caso) se convirtió la radiación en iluminancia y se calculó la luminancia del sol.



*Figura 3: Alternativas de diseño de parasoles exteriores analizadas (en orden descendente y de izquierda a derecha: sin protección, vertical a  $0^\circ$ , vertical  $45^\circ$  hacia la izq., vertical  $45^\circ$  hacia la derecha, horizontal  $0^\circ$ , horizontal a  $45^\circ$ , estante de luz a 1.35 m. sobre nivel de piso, estante de luz a 1.60 m)*

Luego se calculó el índice de turbidez usando la iluminancia y la altitud solar. Con este índice de turbidez se genera un modelo de cielo con un algoritmo que combina proporciones de dos tipos de cielo: CIE cubierto normal e intermedio de Matsuura (Mardaljevic, 2000C).

El cálculo de luminancia se realizó, según el modelo de cielo, para las porciones en las que se ha dividido el mismo.

Una vez cuantificadas las luminancias para las porciones en que se ha dividido la bóveda celeste -145 para nuestro caso- se calcularon las iluminancias debido a las fuentes directas e indirectas y luego se realizó la sumatoria de todas ellas para cada uno de los puntos. El hacer los cálculos por separado y luego sumarlos permite, si así se desea, verificar cuál de las contribuciones resulta más importante según la protección utilizada (directa o indirecta del cielo y directa o indirecta del sol). Este procedimiento ha sido validado con las bases de datos reales del Establecimiento de Investigación en Construcción del Reino Unido (Building Research Establishment) y ha probado ser de gran precisión (Mardaljevic, 2000A).

Con el uso de rutinas escritas en lenguaje IDL (Interactive Data Language) se han calculado también la ‘Iluminancia Natural Útil’; indicador basado en considerar la iluminancia que los puntos de cálculo reciben en horario de oficina (9 a 19 hs para este caso) y que se encuentren dentro de un rango particular (de 100 a 2000 lux). Este rango surge de cotejar numerosos estudios sobre confort visual y atendiendo a los efectos en el rendimiento laboral (Roche, 2000; Selkowitz et al., 1998 y 1999; Vine et al., 1998; Christoffersen, 2000). Este indicador predice en qué porcentaje de las horas de trabajo anual se cumple tal condición en un determinado local, con ello es posible caracterizar la iluminación de un local con un sólo número (Nabil, 2002). La valiosa información sobre lo que ocurre en cada punto de cálculo nos permite a su vez predecir el consumo de energía eléctrica que demandara mantener por ejemplo un nivel constante con el aporte de la iluminación natural en términos reales con una aproximación significativa. Para este caso se han adoptado dos esquemas: uno de encendido/apagado simple (consignado como ON/OFF en las figuras) y otro ‘dimerizado’ de compensación de déficit por zonas. En el caso del esquema de encendido /apagado se supone un nivel mínimo asegurado de 500 lux, por lo que, en cada momento que ese requerimiento no se cumple por medios naturales, entonces se enciende el sistema artificial proveyendo un nivel uniforme de 500 lux sobre el plano de trabajo. Para la variante de dimerizado, se establecen tres zonas –a la manera de circuitos- y en cada una de ellas el valor de la iluminación es el que compensa el menor valor de los fotosensores virtuales. A su vez, la carga térmica derivada de estos esquemas de funcionamiento se adiciona a las cargas internas del modelo térmico. Simultáneamente, una grilla de 100 puntos al interior del plano de la ventana calcula los valores de radiación que llegan al interior una vez que atraviesan el conjunto ventana-protecciones. Esto permite estimar la ganancia anual de radiación solar para cada caso de los parámetros especificados. Es aquí donde se vinculan los cálculos de radiación con el modelo de cálculo térmico: Los valores de radiación obtenidos pasan a ser ‘dato’ de las ganancias térmicas externas que llegan al interior del espacio en estudio y se usan para el cálculo de las cargas térmicas por calefacción y/o refrigeración.

## RESULTADOS

A continuación se exhiben los resultados obtenidos, los mismos se agrupan según el parámetro de que se trate.

### *Iluminancia Natural Útil*

En la *Figura 3* se observa la representación de los ocho casos de protecciones para la orientación Norte de la simulación realizada para la ciudad de Buenos Aires de Iluminancia Natural Útil en valores porcentuales y para cada una de las fotocélulas ubicadas sobre el plano de trabajo. En todos los casos la ubicación de la ventana se encuentra hacia la izquierda. La distribución de los valores a lo largo del plano de trabajo indican la probabilidad alta o baja de que en las horas de trabajo de todo el año ese punto posea un valor de iluminancia que se encuentre dentro del rango comprendido entre los 100 lux y los 2000 lux. Sin embargo, habrá valores bajos que no necesariamente significan “déficit” en términos de lumínicos, sino que también los excesos generarán un valor bajo del porcentaje de horas de trabajo anual en que el valor de iluminancia se encuentra dentro del mencionado rango.

Con este objetivo se ha generado (para la misma latitud y orientación que en el gráfico anterior) otro gráfico *Figura 4* representando –en sección por la abertura- una de las líneas medias constituidas por los puntos de la grilla donde se encuentran ubicadas los fotosensores virtuales y en ellas se ha representado las tres situaciones posibles:

- Línea verde : representa los valores que se encuentran dentro del rango (entre 100 y 2000 lux)
- Línea Azul: representa los valores que se encuentran por sobre el rango (mayor a 2000 lux)
- Línea roja: representa los valores que se encuentran por debajo del rango (menor a 100 lux)

Aquí pueden observarse como aquellas alternativas cuyos valores de probabilidad de estar dentro del rango aparecían como bajos, trataban de situaciones donde en realidad se excedían (caso sin obstrucción o con estantes de luz a distintas alturas).

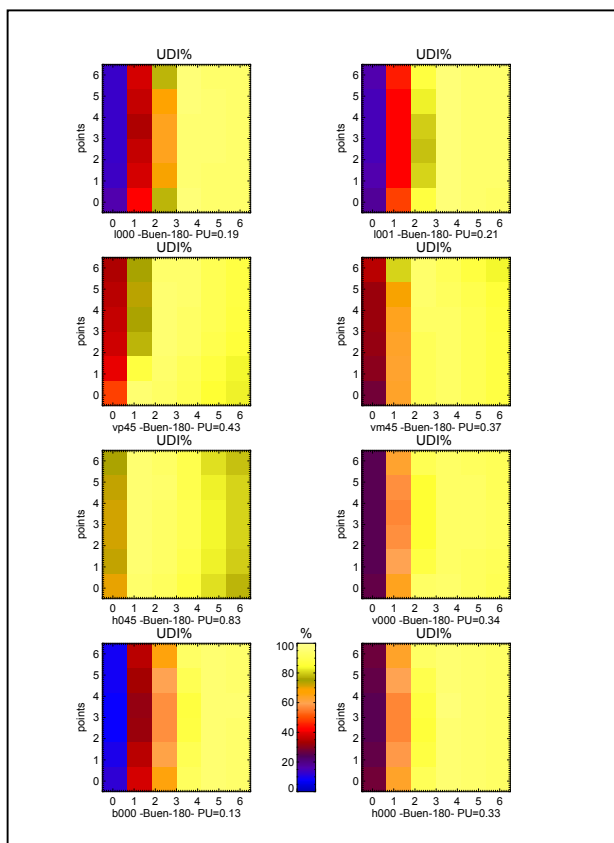


Figura 3: Valores de I. Natural Útil por puntos

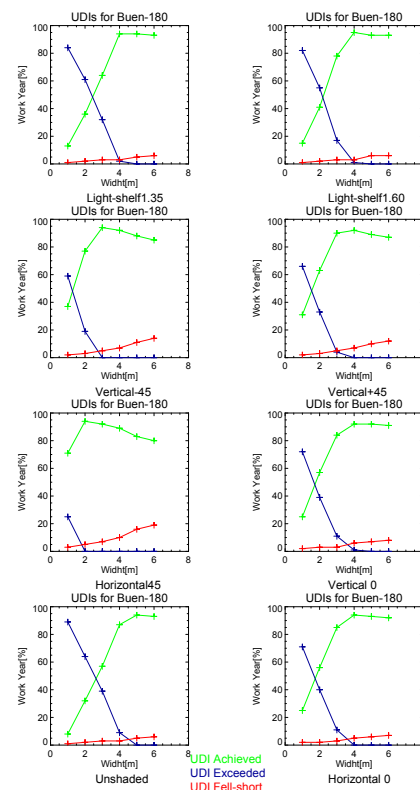


Figura 4: 3 posibilidades de Iluminancia Natural Útil

### Consumo Energético

Las matrices de valores obtenidas para el análisis de la iluminación natural debida al uso de alternativas de protecciones solares exteriores, permiten hacer las estimaciones del consumo debido a iluminación artificial para los esquemas de encendido detallados precedentemente. A su vez, de los mismos patrones de consumo de electricidad, pueden derivarse las cargas térmicas originadas por la utilización de la iluminación artificial. Por otro lado, con los valores de radiación transmitida al interior del local (registrada por la grilla de 100 fotosensores ubicados en el interior del local muy próximos al plano del vidrio de la ventana), sumados a las cargas térmicas interiores, ya pueden realizarse los cálculos de consumo energético debido a uso de calefacción y refrigeración. En la *Figura 5*, se presentan estos valores para las ocho alternativas de protecciones solares exteriores en las cuatro orientaciones principales (Sur, Oeste, Norte y Este). Para el cálculo del consumo energético se ha considerado que tanto la refrigeración como la iluminación artificial se alimentan con energía eléctrica y que la provisión de calefacción se realiza mediante calderas alimentadas a gas. Los valores de consumo energético anual se encuentran representados de la siguiente forma:

- Amarillo: Iluminación Artificial
- Azul: Refrigeración
- Rojo: Calefacción

En estos resultados puede observarse la influencia del esquema de encendido de la iluminación en el consumo no solo de electricidad para alimentar la iluminación sino incrementando o reduciendo los consumos de calefacción o refrigeración.

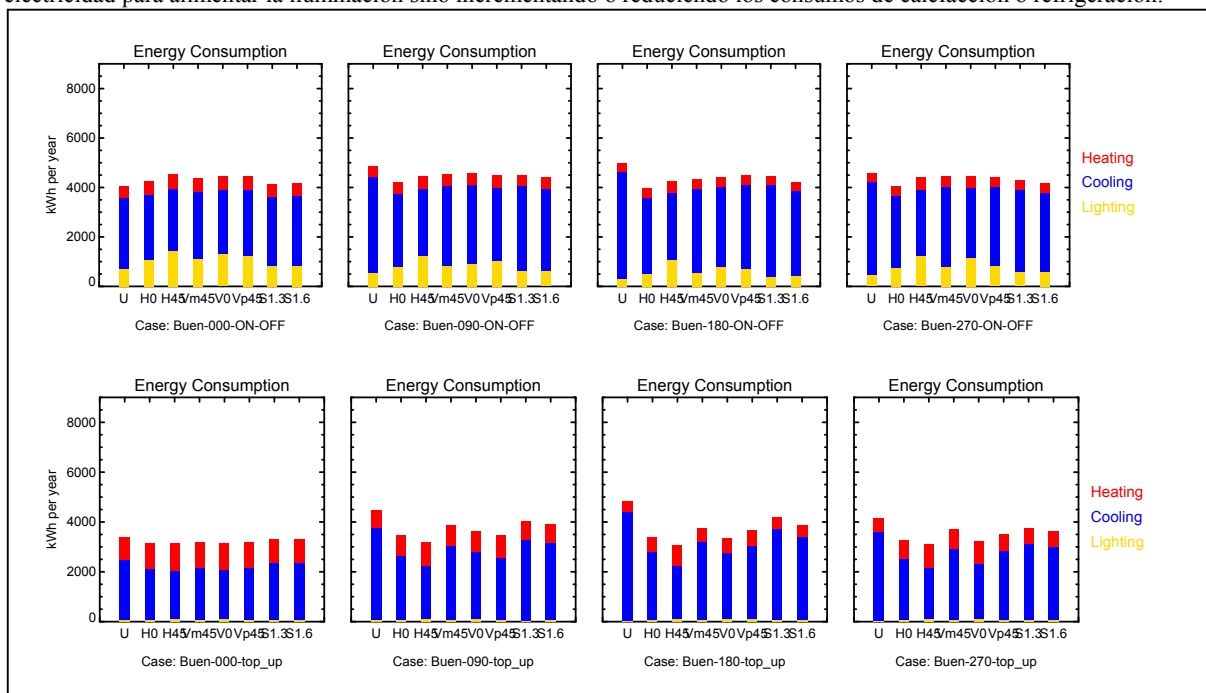


Figura 5: Valores de consumo energético para esquemas de iluminación artificial .  
 Arriba: Sistema de control ON/OFF para las cuatro orientaciones en Buenos Aires (Sud, Oeste, Norte y Este)  
 Abajo: Sistema de control top-up para las cuatro orientaciones en Buenos Aires (Sud, Oeste, Norte y Este)

## CONCLUSIONES

En el presente trabajo se presenta una técnica nueva para la evaluación de protecciones exteriores en edificios: un sistema híbrido termo-lumínico.

Con este sistema cada ‘escenario’ analizado puede comprender muchas alternativas: distintas geometrías, climas, orientaciones, materiales de construcción de los muros y tipos de vidriados.

Así, analizar los parámetros de diseño de protecciones desde el punto de vista de su influencia en la iluminación natural, el ingreso de la radiación y las consecuencias energéticas que derivaran para el edificio pueden hacerse sobre un gran número de alternativas y todavía simplificarse significativamente.

Las simulaciones posibles con esta metodología, permiten que los estudios paramétricos resulten simples de realizar en las primeras etapas del diseño y con un alto grado de certidumbre en sus predicciones ya que se encuentra basado en dos sistemas rigurosamente validados.

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece la asistencia técnica y financiera recibida del Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable de la Universidad De Montfort del Reino Unido para la realización del presente trabajo.

## REFERENCIAS

- AJMAT, R; MARDALJEVIC, J; HANBY, V (2005) Evaluation of shading devices using a hybrid dynamic lighting thermal model. Actas de la 9ª Conferencia de la International Building Performance Simulation Association, Montreal, Canada.
- BÜLOW-HÜBE H. (1998) “The Effect of Glazing Type and Size on Annual Heating and Cooling Demand for Swedish Offices”. Actas de Renewable Energy Technologies ‘98 in cold climates Conference, 4-6 May, Montreal (Canada). Solar Energy Society of Canada Inc. (SESCI). pgs. 188-193.
- CANNON-BROOKES (1997) "Simple scale models for daylighting design: Analysis of sources of error in illuminance prediction" Revista Internacional : Journal of Lighting Research and Technology, Volumen 29 Numero 3 pgs 135-142.
- CHRISTOFFERSEN, J.;JOHNSEN, K.; PETERSEN, E.; VALBJORN, O.; HYGGE S. (2000). Windows and daylight: A post occupancy evaluation of Danish offices. Actas de la Conferencia Lighting 2000, 9-11 Julio, York, Reino Unido.
- CIBSE (1987), Window design, Chatered Institution of Building and Services Engineers, London
- CLARKE, J.A. Energy Simulation in Building Design 2nd Edition, Butterworth-Heinemann (2001)
- CRABB, J; MURDOCH, N.; PENMAN, J.(1987) "A simplified thermal response model" Revista: Building Services Engineer Research Technology, Numero 8 pgs 13-19.
- DUBOIS, M.C., (2001) Solar shading for low energy use and daylight quality in offices. Simulations, measurements and design tools. Tesis Doctoral , Department of Construction and Architecture, Lund University, Lund, Sweden.

DUBOIS, M.C., (2003) "Shading devices and daylight quality :an evaluation based on simple performance indicators". Revista Internacional: Journal of Lighting Research and Technology, Volúmen 35, Número 1. pags 61-76.

GALASIU, A.; MORAD, A. (2002) "Applicability of daylighting computer modelling in real case studies: comparison between measured and simulated daylight availability and lighting consumption" Revista: Building and Environment Volumen 37, pags 363-377.Elsevier Science Ltd.

IRAM (1974) Instituto de Racionalizacion Argentina de Materiales Normas IRAM-AADL J20-04 y 20-06, Buenos Aires.

JANAK, M.; MCDONALD I.(1999). 'Current state-of-the-art of integrated thermal lighting simulation and future issues' Actas de la Conferencia Building Simulation '99 – IBPSA-. Kyoto. Japan.

JANAK, M. (2003) "Whole building energy simulation with complex external shading devices" Actas de la Conferencia IBPSA03, Eindhoven, Netherlands, 2003, pgs 571-576.

KÜLLER, R. (1981) "Non visual effects of light and colour" Bibliografía recopilada D15:81 (Stockholm: Swedish Council for Building Research)

KÜLLER, R.; LINDSTEN, C. (1992) "Health and behaviour of Children in classrooms with and without windows", Revista: Journal of Environmental Psychology, Volúmen 12, pgs 305-317.

LITTLEFAIR, P. J., (1992) Daylight Coefficients for practical computation of internal illuminances, Revista Internacional: Journal of Lighting Research and Technology, Volumen 24, Número 3.

MARDALJEVIC, J. (2000A), Daylight simulation: validation, sky models and daylight coefficients. PhD Thesis. IESD De Montfort University, UK.

MARDALJEVIC, J.(2000B) "Beyond Daylight Factor an example study using daylight coefficients "Proc CIBSE National Lighting Conference, York, UK, 2000, pgs 177-186.

MARDALJEVIC, J.(2000C) Simulation of annual daylighting profiles for internal illuminance International Journal of Lighting Research and Technology, Volumen 32 Número 3.

MARDALJEVIC, J. (2003) "Precision modelling of parametrically defined solar shading systems: Pseudo- Changi" Paper presented to Building Simulation Eindhoven 2003.

NABIL, A. (2002) Performance Modelling for Advanced envelope System, PhD Thesis, IESD De Montfort University, UK

NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. (2005) "Useful Daylight Illuminance: A new paradigm to Assess Daylight in Buildings" International Journal of Lighting Research and Technology, Volumen 37, Número 1 pags 41-59.

NATIONAL ENERGY FOUNDATION, Calculador de emisiones de CO2 basado en datos de DEFR, Disponible en NEF Website: <http://www.natenergy.org.uk>, ultimo acceso February 2007

PACIFIC GAS AND ELECTRICITY CO. (1999) Informe elaborado por Heschong Mahone Group "Daylighting in Schools. An investigation into the relationship between Daylighting and human performance", Fair Oaks, CA, USA.

ROCHE,L.; DEWEY,E.; LITTLEFAIR,P. (2000) Occupant Reactions to Daylight in Offices, BRE Publicacion de borrador 76280 CIBSE Daylighting Conference, London.

SELKOWITZ , S. y LEE, E. (1998) "Advanced Fenestration Systems for improved Daylight Performance", Building Technologies Department Environmental Tech. Division. Ernest Orlando Lawrence Berkeley Laboratory, University of California, Informe Número LBNL-41461 DA-385, Presentado en Daylighting Conference, Ottawa, Canada.

SELKOWITZ , S. (1999) "High performance glazing systems-Architectural oportunities for the 21<sup>st</sup> century Building Technologies Department Environmental Tech. Division. Ernest Orlando Lawrence Berkeley Laboratory, University of California, Informe Número LBNL-42724 WG-411Presentada en Glass Porcessing Days Conference, Tampere,Finland.

SOEBARTO, V.I.; DEGELMAN, L. (1994) "Effectiveness of external window attachments based on daylight utilization and cooling load reduction for small office buildings in hot humid climates", Actas del 9<sup>th</sup> Symposium on improving Bldg. systems in hot and humid climates, pgs 110-115, Texas, USA.

TONELLO, G. (2001) "Lighting, Mood, and Seasonal fatigue in Northern Argentina. Comparison to countries close to and further from the equator" Tesis de Doctorado. Environmental Psychology Unit, Department of Architecture, Lund University, Sweden.

TREGENZA, P.; WATERS, I. (1983); Daylight coefficients, International Journal of Lighting Research and Technology, Volumen 15, Número 2.

VINE, E.;LEE, E.;CLEAR,R.;DI BARTOLOMEO, D.; SELKOWITZ, S.,(1998) 'Office Workers Response to an Automated Venetian Blind and Electric lighting system- A pilot study', Revista: Energy and Buildings, Volumen 28, Ejemplar 2, The international Council for Research and Innovation in Building and Construction.

WINCKELMANN, F.C. (2001), "Modelling Windows in Energy Plus", Actas de IBPSA Building Simulation 2001, Rio de Janeiro, Septiembre de 2001.

## ABSTRACT

The thermal modelling of windows is often carried out at a high level of precision whilst irradiance and daylight quantities are predicted using coarse approximations. This paper describes a new approach to predict the daylighting and thermal components of shading device performance using a hybrid dynamic lighting-thermal model. Irradiation and daylighting modelling is carried out using the validated *Radiance* lighting simulation program. The irradiance predictions coming from raytracing calculations on virtual photocells provide input to a simplified thermal response model. The new technique can be applied to the problem of evaluating shading devices in terms of overall energy and visual comfort performance for different shading devices design, multiple climate zones and orientations and various building materials.

**Keywords:** solar shading, simulation, daylight, energy loads, energy consumption.