SISTEMAS ACTIVOS DE LUZ DIURNA, PROYECTO ADASY® EUREKA 3575

L. García Rodríguez[1], A. García Botella[2], D. Vazquéz[3], A. A. Fernández Balbuena[3], W. Pohl[4], E. Bernabeu[3], Peter Georen[5], Claes-Goran Granqvist[6]

1. Dpto. de Optica, Lledó Iluminación S.A. Cid Campeador 14, 28935, Mostoles, España, Tfno. 91 665 61 80, e-mail: lgarcia@lledosa.es
2. Dpto. Fisica Aplicada a los RR. NN., Universidad Politecnica de Madrid, Ciudad Universitaria s/n, 28040, Madrid, España, Tfno. 91 336 63 79, e-mail: angel.garciab@upm.es
3. Dpto. Óptica, Universidad Complutense de Madrid, Ciudad Universitaria s/n, 28040, Madrid, Tfno. 91 394 45 53, e-mail: ebernabeu@fis.cum.es
4. Bartenbach Lichtlabor, Rinner Straße, 14, A-6071, Aldrans,Tyrol, Austria, e-mail: Wilfried.Pohl@bartenbach.com
5. Chromogenics Sweden, Science Park s/n, SE-751 83, Uppsala, Suecia, e-mail: peter.georen@chromogenics.se
6. Uppsala University, The Ångström Laboratory box 543, se-751 21, Uppsala, Suecia, e-mail: Claes-Goran.Granqvist@Angstrom.uu.se

RESUMEN

El principal objetivo del proyecto Eureka ADASY® es desarrollar un sistema de iluminacion natural por captacion de luz en fachada, regulable en intensidad y diseñado para aplicacion en oficinas. De modo que ADASY® pueda sustituir parcialmente los actuales sistemas de iluminación, basados en fuentes de luz artificial generada a partir de vapor de mercurio, de mayor coste energético y medioambiental. Para acometer este objetivo general es necesario estudiar y desarrollar una serie de problemas tanto de índole científico como tecnológico.

PALABRAS CLAVE: Energía Solar, Iluminación natural, óptica anidólica, electrocrómicos

ABSTRACT

The main objective of the ADASY® project is to develop a commercial lighting system, based on daylight caption at building façade, dimmable and designed for office applications. In way that ADASY® could replace partly the actual lighting systems, based on Hg vapour artificial light sources, with environmental and energy cost. To accomplish that objective, there are some scientific and engineering problems to study and solve.

KEYWORDS: Solar Energy, Daylighting, Nonimaging optics, electrochromic

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de iluminación natural aplicados a la arquitectura son tan antiguos como la arquitectura misma. Lo que diferencia a los desarrollos que se han venido realizando en los últimos años es la incorporación de nuevas tecnologías y materiales. Los modernos sistemas de cálculo y simulación por ordenador han permitido el diseño preciso y optimizado de dispositivos ópticos que optimicen tanto la captación como el guiado y distribución final. La aplicación de sistemas de iluminación natural en arquitectura viene siendo históricamente de baja aplicación y uso por parte de los diseñadores debido esencialmente a la dificultad de distribución y canalización de la misma por el interior de los edificios. Cabe destacar la experiencia del Grupo Lledó Iluminación, como fabricante de luminarias y falsos techos para edificios de oficinas, así como la experiencia del resto de socios miembros del consorcio ADASY® en el diseño de elementos ópticos y optoelectrónicos de iluminación, lo cual permitirá acometer las necesidades del proyecto ADASY® con garantías.

El principal objetivo del proyecto EUREKA 3575 ADASY® (Active DAylighting SYstem) *es el desarrollo de un sistema de iluminación basado en luz natural, regulable y diseñado* para edificios no residenciales, mejorando el confort, bienestar y productividad (CIE, 2004). De modo que ADASY pueda sustituir parcialmente los actuales sistemas de iluminación, basados principalmente en fuentes de luz artificial generada a partir de vapor de mercurio, de gran coste energético y medioambiental, aproximadamente el 10 % del consumo de energía en EE.UU. es debido al consumo de iluminación en edificios de oficinas en periodo diurno (Köster H., 2004). Dentro de este objetivo general concurren una serie de parámetros/objetivos que Lledó Iluminación considera fundamentales para poder considerarlo como un sistema de iluminación eficiente y por tanto posteriormente comercializable, parte de estos parámetros/objetivos aparecen estandarizados en la normativa EN-12464. 1.-ADASY® debe ser capaz de iluminar áreas ≥ 50 m^2. 2.-ADASY® debe proporcionar niveles de iluminancia media de 400 lux. 3.-ADASY® debe producir una iluminación con uniformidad espacial ≥ 0.5. 4.-ADASY® debe producir una iluminación con uniformidad temporal ≥ 0.5. El desarrollo del proyecto ADASY® para la consecución de los objetivos mencionados, consta de dos etapas claramente diferenciadas, etapa óptica pasiva, y etapa óptica activa, tiene una duración de 42 meses y tiene un presupuesto de 4.83 M€.

DESARROLLO DEL PROYECTO ADASY®

El desarrollo del proyecto ADASY® se ha dividido en dos etapas que temporalmente han progresado de modo paralelo; etapa óptica pasiva, consiste en el diseño de elementos ópticos reflexivos y refractivos que actúan de un modo secuencial, cuyo objetivo es captar y colectar la luz solar, guiarla al interior del edificio y finalmente extraerla y redistribuirla en la estancia o puesto de trabajo correspondiente. Por otro lado la etapa óptica activa, esta compuesta por elementos optoelectrónicos que integran un sistema de control de ADASY®, de modo que este sistema adecua su comportamiento al nivel de iluminación solar existente, asistiendo con luz artificial en situaciones de falta de luz natural o regulando la luz natural en función de las necesidades

Etapa Óptica Pasiva

Esta etapa óptica pasiva esta compuesta por una serie de dispositivos ópticos que actúan de un modo secuencial. El primer componente seria el sistema colector/captador de luz, basado en componentes ópticos anidolicos, es el encargado de colectar y redireccionar la luz solar. Se trata de un componente clave de ADASY® ya que debe operar con gran apertura numérica, gran eficiencia y el haz de salida del sistema colector/captador debe tener divergencia $< 30^{\circ}$ para su posterior transmisión al interior del edificio. Una de las restricciones impuestas sobre el sistema colector consiste en que debe ser pasivo y no heliostático, de modo que debe ser un elemento óptico captador de luz en cualquier condición de elevación y azimut solar. Un sistema heliostático seria un sistema de mayor eficiencia pero sin duda de mayor coste y de insalvables dificultades de integración en edificios. El diseño del sistema colector/captador se fundamenta en la teoria óptica no formadora de imagen (anidólica) (Scartezzini et alt., 2007 y Ogilvy J.A., 1991). A partir de las ópticas anidólicas obtenidas del estudio analítico, optimizamos su comportamiento en una configuración matricial solapada, para ello se emplea dentro de un entorno de simulación por trazado de rayos en 3D un algoritmo de optimización tipo simplex Nelder-Mead. El resultado de este proceso de optimización ha permitido definir el componente colector en base a una estructura matricial solapada de elementos concentradores tipo CPC, operando en modo inverso, T^2-CPC (Fig. 1).

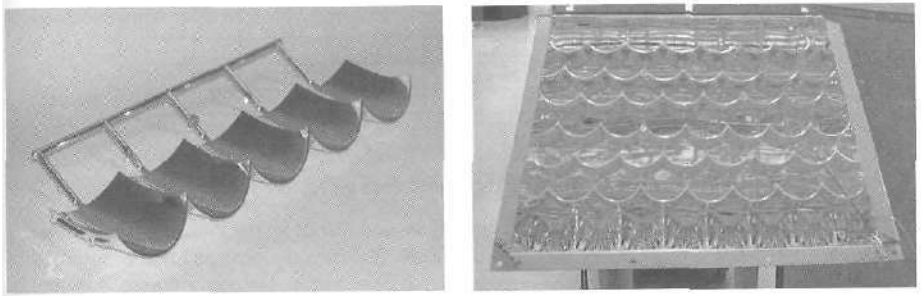

Fig. 1. Elemento T^2-CPC truncado y matriz colectora de luz

Para el análisis, los resultados tanto de simulaciones como en medidas de campo, se presentan en un diagrama tipo ONION que representa el flujo luminoso colectado en función del mes, día y hora de funcionamiento (Fig. 2), en este sentido los parámetros empleados en el proceso de optimización del T^2-CPC fueron, la cantidad de flujo luminoso colectado y la uniformidad temporal de dicho flujo.

El segundo componente de la etapa pasiva es el sistema de guiado principal, encargado de transportar la luz al interior del edificio con alta eficiencia. Sobre este elemento la radiación sufre un número muy elevado de reflexiones, y la eficiencia en este componente se expresa en primera aproximación, a partir de una ley exponencial con el número de reflexiones

$$\eta = \rho^{N} \tag{1}$$

donde η es la eficiencia del sistema de guiado, ρ (< 1) la reflectancia del material óptico empleado en el sistema de guiado y N el numero de reflexiones que sufre la luz al atravesar el sistema, el valor de N depende de las dimensiones de la guia. Para guías del entorno de 10 m de longitud como el caso de ADASY® el valor de N puede oscilar entre 15-20 reflexiones. Por tanto la estrategia de diseño de este componente se basa en maximizar la reflectancia del material óptico y adecuar las rugosidades superficiales, para optimizar la

eficiencia del sistema de guiado y las distribuciones angulares de luz requeridas en ADASY® (Avendaño E. et alt., 2006). Para obtener estos resultado, se hace imprescindible el estudio y desarrollo de materiales con aleaciones de Al y Ag, y el empleo de técnicas de ultra alto vació PVD (*Physical Vapor Deposition*) para la fabricación de estos componentes, así como el estudio de configuraciones geométricas optimas para el transporte de luz, y su integración tanto en ADASY® como en infraestructuras arquitectónicas.

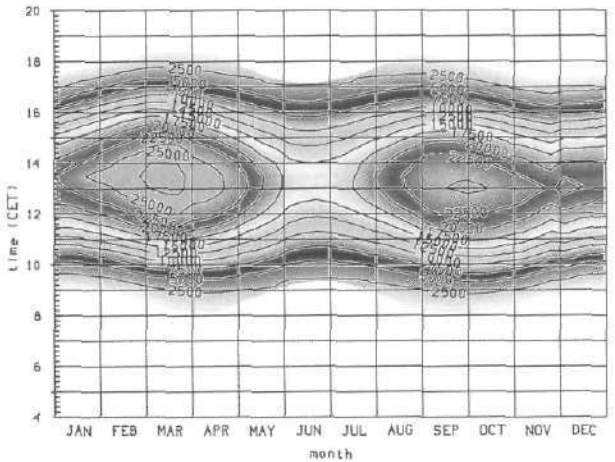

Fig. 2. Diagrama ONION de representación de resultados de ADASY

Como tercer componente, se ha implementado un sistema de extracción de luz, luminaria. No solo extrae la luz hacia la estancia o puesto de trabajo correspondiente, además la distribuye de modo eficiente tanto espacial como temporalmente, evitando deslumbramientos molestos y proporcionando una distribución de luz uniforme en el plano de trabajo, de modo que el sistema satisfaga la normativa EN 12464 "Iluminación de puestos de trabajo". Para abordar este sistema, se identificaron dos opciones conocidas en el mundo de la óptica "redes de Ronchi reflexivas" o "redes aleatorias reflexivas". La Fig.3 muestra un esquema sobre los componentes de la etapa óptica pasiva y su ensamblaje.

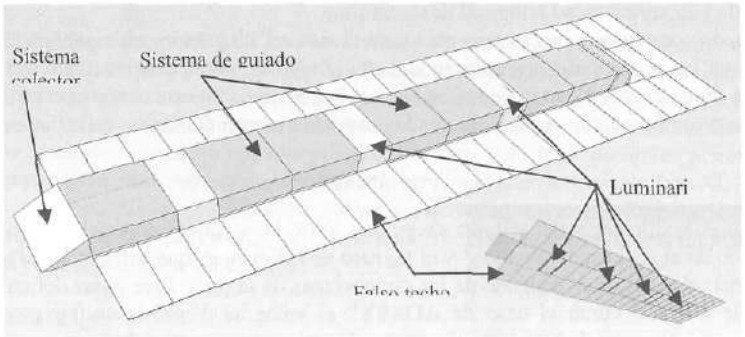

Fig. 3. Esquema de la etapa pasiva del sistema ADASY

Etapa Óptica Áptiva

La etapa óptica activa constituye un completo sistema de control para ADASY®. Cuya principal funcionalidad, consiste en adecuar su comportamiento en función de la luz solar incidente en el sistema, con el fin de mantener los niveles de uniformidad espacial y temporal marcados dentro de los objetivos del proyecto. Una segunda funcionalidad de la etapa activa será la de actuar como regulador de luz, adecuando el nivel luminoso, no solo a la luz solar incidente sino, a las necesidades de la tarea que se lleva a cabo en la estancia (Fig. 4).

Para la realización de estas funciones, la etapa óptica activa constará de dos componentes básicos; subsistema electrocrómico y su electrónica de control, dispositivo de transmitancia regulable electrónicamente (Avendaño E. et alt., 2006), que permite controlar la uniformidad temporal y regular la cantidad de luz en función de las necesidades de la estancia. Por otro lado, son necesarios elementos de iluminación artificial de emitancia regulable electrónicamente, permiten controlar la uniformidad espacial y asistir al sistema en situaciones de falta de iluminación solar, estos componentes estarán ubicados en la luminaria y constituye la parte opto-electrónica externa de ADASY®. Estos dos componentes básicos actúan controlados mediante sistemas de software y hardware adecuadamente calibrados, que reciben señales de entrada procedentes de diversos fotodiodos distribuidos a lo largo del sistema.

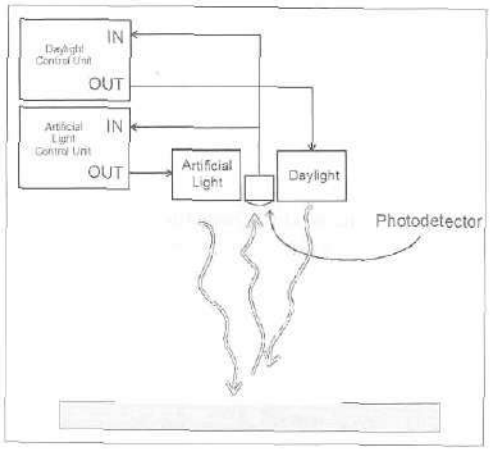

Fig. 4. Diagrama de funcionamiento de la etapa óptica activa

RESULTADOS EXPERIMENTALES

A partir de la estructura expuesta anteriormente, se han realizado estudios tanto de índole teórico como de cálculo numérico mediante trazado de rayos con ordenador. Los resultados se expresan en diagramas tipo ONION, mostrando la captación y redistribución de 17 klm durante más de 4 horas diarias y 10 meses al año.

Para corroborar estos resultados se ha construido un prototipo escalado, escala 1:2 y se han realizado comprobaciones experimentales a partir de medidas de simulación de cielo

artificial en las instalaciones de Bartenbach Lichtlabor. La Fig. 5 muestra figuras de iluminancia medida en prototipo y la iluminancia simulada para una configuración de incidencia 60º elevación y 0º azimut.

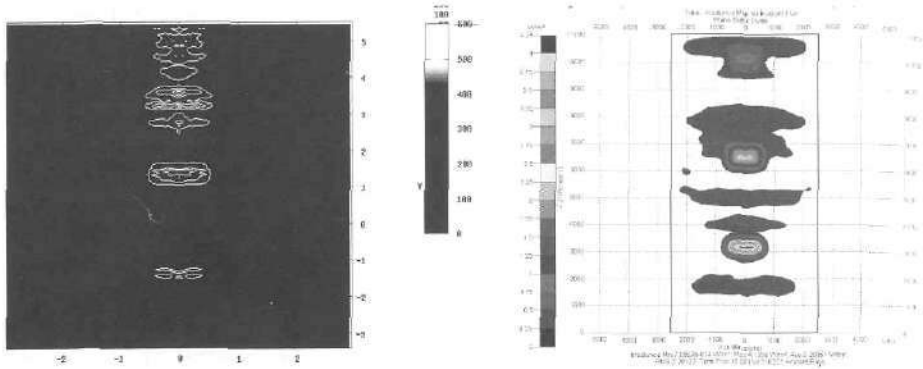

Fig. 5. Resultados experimentales y simulaciones del sistema ADASY®

CONCLUSIONES

El consumo de energía eléctrica en iluminación es una fracción significativa del consumo de los edificios no residenciales. La implementación de soluciones de iluminación natural en este tipo de edificación proporciona importantes ahorros energéticos, así como mejoras en el confort visual y el bienestar de sus ocupantes. En este ámbito, el sistema ADASY®, basado en el diseño de ópticas anidolicas de captación de luz en fachadas, permite distribuir la luz natural en el interior de edificios no residenciales de un modo eficiente. La integración de estos elementos ópticos con elementos activos de iluminación artificial, permite cubrir los requerimientos de iluminación de este tipo de edificación. En particular ADASY® es capaz de proporcionar un flujo luminoso superior a los 17 klm durante 4 horas diarias y 10 meses al año (días claros). Transportando esta luz a una distancia de 11 m de la fachada hacia el interior del edificio.

REFERENCIAS

CIE Expert Simposium on Light and Healt", 29 September to 2 October, 2004, ViennaAustria.

Dynamic Daylighting Architecture" Helmut Köster, Birkhäuser, 2004.

R. Winston, J. C. Miñano, P. Benitez, "Nonimaging Optics", *Elsevier Academic Press*, New York, 2005.

J.L. Scartezzini, F. Linhart, E. Kaegi-Kolisnychenko "Optimal integration of daylighting and electric lighting using non-imaging optics", Nonimaging Optics and Efficient Illumination Systems IV, SPIE, vol 6670, San Diego 2007.

J. A. Ogilvy, "Theory of Wave Scattering from Random Rough Surfaces" Adam Hilger, Bristol, 1991.

E. Avendaño, L. Berggren , G.A. Niklasson , C.G. Granqvist , A. Azens "Electrochromic materials and devices", *Thin Solid Films*, **496** (2006) 30 – 36.