

APLICABILIDAD DE SISTEMAS DE ILUMINACIÓN NATURAL DE BAJO COSTO. REFUNCIONALIZACIÓN LUMÍNICA EN UNA OFICINA.

Leandro Ferrón¹, Andrea Pattini², Miguel A. Lara².

Instituto de Ciencias Humanas Sociales y Ambientales (INCIHUSA). Unidad: Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda
CONICET - C.C.131 C.P. 5500 – Mendoza .Tel. 0261-4288797 e-mail: lferron@lab.cricyt.edu.ar
IFIR-CONICET-UNR. 27 de febrero 210 bis 2000, Rosario.

Recibido:08-04-10; Aceptado:10-05-10.

RESUMEN.- En la actualidad, numerosos ambientes de trabajo situados dentro espacios construidos no se encuentran visualmente conectados con el exterior. Esto se debe principalmente a nuevos paradigmas del diseño arquitectónico, posibles gracias a la sustitución de la luz natural por iluminación artificial aún durante la realización de labores en horas diurnas. La necesidad de reducir el costo energético generado por la dependencia hacia sistemas artificiales de iluminación y el deseo de los usuarios de oficinas de optimizar los niveles de iluminación y confort visual, plantea la posibilidad de aplicación de sistemas innovativos de iluminación natural. Para un caso de refuncionalización lumínica, ubicado en la provincia de Mendoza, Argentina, el uso de una metodología específica determinó que la estrategia de iluminación natural más adecuada sería la redirección de la luz solar directa, trabajando en el diseño de la luz reflejada. La metodología propuesta consta de un análisis de la situación inicial, modelización de condiciones, y propuestas resolutorias de diseño, a través de evaluaciones lumínicas, construcción de maquetas reales y virtuales, y evaluación del rendimiento en heliodón y en programas de simulación. Este trabajo apunta a refuncionalizar la iluminación natural e incrementar las aplicaciones de diseño de sistemas innovativos de iluminación natural, aplicando en el caso presentado, estrategias de redirección de la componente solar, capaces de optimizar los niveles de iluminación interior hasta en un 40 %.

Palabras claves: Iluminación natural, refuncionalización lumínica.

LOW COST DAYLIGHTING SYSTEMS APPLICABILITY. LIGHTING RETROFITTING CASE AT AN OFFICE ENVIRONMENT.

ABSTRACT.- Nowadays, many working environments are located within facilities that are not visually connected with the exterior. This is due to the new architectural paradigms as regards design, based on the possibility to substitute natural light for artificial lighting even in daytime. Accordingly, the need of reducing energy costs and the user's wish to optimize lighting and visual comfort levels raises the option of innovative natural lighting systems implementation. For a luminous retrofitting case, located in Mendoza, Argentina, a specific methodology used determined that the more adequate natural lighting strategy would be redirecting direct sunlight, working on the reflected light design. The methodology proposed is formed by an analysis of the initial situation, conditions modelization, and design resolving proposals, through luminous evaluation, real and virtual scale model construction, and performance evaluation using heliodon and simulation software. This work points to refuncionalize natural lighting and to increase the application of innovative natural lighting systems design. In the mentioned case, strategies of redirection of the solar component capable of optimizing indoor lighting levels up to a 40% were applied.

Keywords: Daylighting systems, lighting retrofitting.

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, las personas pasan la mayor parte de las horas diurnas en el interior de espacios construidos (edificios), permaneciendo necesariamente dentro de los mismos durante extensos períodos de tiempo y, esperándose de éstas, la realización con eficiencia y satisfacción de las tareas que les son asignadas. En este contexto, podemos

Identificar la realización con eficiencia y satisfacción de las tareas que les son asignadas. En este contexto, podemos identificar a la iluminación como una variable ambiental que puede potencialmente modificar no solo el estado de operación del sistema visual sino también la manera en que el ser humano realiza una tarea. La calidad de la luz puede actuar como un factor positivo, favoreciendo el desempeño de las personas, o puede influir negativamente sobre la respuesta de las mismas, lo que, a su vez, y dependiendo del contexto, puede afectar la productividad.

1. Becario Doctoral CONICET
2. Investigador CONICET

Si bien es cierto que no hay una definición clara para "Calidad de la Iluminación" existen una gran cantidad de acercamientos para delimitarla, desde la búsqueda de índices fotométricos simples calibrados a partir de respuestas subjetivas (Bean y Bell, 1992), de resultados de procesos de diseño holísticos basados en patrones de luz (Loe y Rowlands, 1996), de determinaciones de las condiciones de iluminación que tienen impactos deseables sobre la eficiencia de una tarea, la salud y el comportamiento (Veitch y Newsham, 1998), o la sistematización de las características de la iluminación que aumentan nuestra habilidad para discriminar detalles, color, forma, textura y terminación de las superficies sin disminución del confort (Boyce y Cuttle, 1994).

Para ambientes interiores de trabajo, los niveles recomendados para la iluminación artificial son generalmente de entre 100 a 500 lux dependiendo de las tareas a desarrollar, normalmente determinados por requisitos estándar de las normas. En los casos más favorables, la luz natural suele incidir sobre los edificios varias horas al día, elevando considerablemente los niveles de iluminación general al tiempo que aporta características diferenciales como son el dinamismo tanto de nivel de intensidad como de temperatura de color. Estas variaciones de la luz solar está demostrado que ejercen una influencia positiva sobre el estado de ánimo de los ocupantes. No obstante esto, y según un estudio realizado en el ámbito de la oficina, la gente manifiesta una preferencia importante por una elevada aportación de luz eléctrica adicional, promedio de 800 lux por encima de la luz natural reinante (Begemann, et. al, 1997).

Desde una perspectiva complementaria es necesario señalar que vastas investigaciones indican que el consumo de energía eléctrica asociado al uso de fuentes de iluminación artificial corresponde, según el caso, entre el 25% y el 50% de la demanda energética total en edificios. Esto considerando siempre que los niveles necesarios de iluminación sobre los distintos planos de trabajo del espacio destinado a oficinas se constatarán con los indicados por la norma (IRAM AADL J 20-06 para el caso de Argentina - Tonello, G., Sandoval, J., 1997). Las mismas, dependiendo de la tarea, recomiendan valores entre los 300 a 500 lux.

Estos valores varían dependiendo del país del origen de la normativa o recomendación y también según la actualización de éstas en un mismo país. (Pattini, 2000).

En cuanto al nivel de iluminación preferido, Kirschbaum y Tonello (1997) mostraron en sus resultados que la iluminación de un local destinado a oficinas con muros claros e iluminados con lámparas fluorescentes luz día, fueron evaluados con una moderada apariencia atractiva y estimulante para niveles de iluminación entre 500 y 600 lux sobre el plano de trabajo. Incrementando los niveles de iluminación alrededor de 1200 lux, el local fue evaluado como claro, moderadamente atractivo, estimulante y cálido.

Fontoynt (2002), reflexionando sobre si el comportamiento de los sistemas de iluminación natural debe ser evaluado por procedimientos objetivos, concluye en que los usuarios de un espacio interior iluminado perciben la calidad de la iluminación natural por sensación mixta. Por una parte, se espera que la iluminación natural cumpla con los requerimientos de niveles de iluminancia sobre plano de trabajo, sin generar deslumbramiento y, por otro lado, se

espera que los resultados sean "visualmente" agradables. En el siguiente trabajo se expone un caso de refuncionalización lumínica en ambiente de oficinas, surgido de una demanda espontánea de sus ocupantes, y que incluye un diagnóstico de la condición de iluminación natural en un espacio sin ventanas laterales ofreciendo una respuesta proyectual y metodológica tomando como problemática específica la complementariedad del alumbrado artificial con iluminación natural cenital de una oficina de uso diurno en clima soleado.

2. MATERIAL Y MÉTODO

La metodología utilizada se propone en tres etapas:

- 1 - el análisis diagnóstico de la situación de iluminación inicial de un caso de estudio,
- 2 - la modelización de las condiciones de iluminación,
- 3 - y la elaboración propuestas resolutorias de diseño.

Las evaluaciones lumínicas serán realizadas sobre el espacio físico real, sobre un modelo escala a través de la construcción de una maqueta, y simulaciones en base a una maqueta virtual.

2.1 - Caso de estudio.

El presente trabajo se basa en la refuncionalización de la iluminación natural de una oficina sin ventanas laterales, pero con la presencia de lucernarios en el techo, principalmente para ventilación natural (Figura1). La oficina, se encuentra ubicada en un edificio de una planta. La latitud correspondiente a su emplazamiento es 32° 53' 41", y su longitud 68° 52" y su clima es semiárido.



Fig.1: Fotografía panorámica de la ubicación de los puestos de trabajo.

El espacio laboral analizado tiene una superficie de 33 m², y contiene 5 puestos de trabajos dispuestos por el uso de computadoras y trabajos de lecto-escritura en papel impreso. La instalación del sistema de iluminación artificial cuenta con tres artefactos de tres tubos fluorescentes de 40 Watt cada uno, sin difusores ni louvers. La evaluación inicial mostró que los mismos se encuentran encendidos durante todas las horas de ocupación de la oficina, desde las 8hs. hasta 16hs. Dos lucernarios que aportan ventilación e iluminación natural se ubican por encima de esta línea de puestos de trabajo, con orientación al ecuador de sus superficies vidriadas transparentes con una medida de 700mm x 700mm cada uno, separados a una distancia de 1700mm entre si, encontrándose además, insertos entre dos vigas de 400mm de altura que forman parte de la estructura del edificio (Figuras 2 y 3).



Fig. 2: Vista interior de los lucernarios ubicados entre las vigas del edificio.



Fig 3: Vista exterior del conjunto de lucernarios.

2.2. Características del Problema

Como ya se mencionó, la realización del estudio sobre el espacio de oficinas descrito surgió como respuesta a un pedido informal de los ocupantes de la misma.

Respecto de las posibles estrategias a utilizar en la resolución de los inconvenientes planteados, se descartó la posibilidad de un cambio en las reflectancias de las superficies de muros interiores (de material ladrillo visto, color marrón rojizo y 42% de reflectancia) debido a que los ocupantes manifestaron preferencia por los colores calidos, por un lado, como una forma de contrarrestar el efecto de "frialdad" de la iluminación artificial y por otro, con el fin de no alterar significativamente el estilo arquitectónico propio que este tipo de superficies confiere a los espacios.

Por otra parte, la propuesta de generar un mayor ingreso y aprovechamiento de la luz natural sobre el espacio despertó un gran entusiasmo relacionado con la posibilidad de obtener una referencia "climática" de las condiciones externas de la oficina (desprovista de ventanas que permitan esa función), además de un registro natural del paso del tiempo.

Finalmente, cabe mencionar que los costos relacionados a la implementación de las ideas de mejoramiento de las condiciones de iluminación serian asumidos por los trabajadores de la oficina, razón por la cual las soluciones propuestas debían además ser de bajo costo de producción e instalación.

2.3. Mediciones iniciales

Sobre la superficie del plano de trabajo se distribuyeron uniformemente 10 puntos de medición para iluminancias horizontales, a una altura de 700mm desde el suelo (a la altura de los planos de trabajo horizontales reales). Se utilizó en todos los casos un radiómetro marca LI-COR 189, con sensor fotométrico LI-210 SB. (Figuras 4 y 5)



Fig. 4 y 5: Radiómetro marca LI-COR 189, con sensor fotométrico LI-210 SB.

Espacio físico: Se tomó como valor de referencia las mediciones de iluminancia efectuadas sobre cada uno de los puestos de trabajo para el día 21 de Septiembre a las 12:00hs.

Modelo a escala: Para poder evaluar las condiciones de luz natural aportadas por los lucernarios en las estaciones representativas del año (solsticios y equinoccios) se construyó un modelo a escala 1:20 (Figuras 6 y 7) Utilizado un heliodón, se realizaron mediciones con la intención de observar el comportamiento de la iluminación natural aportada por los lucernarios dentro del espacio. Para los meses de junio y diciembre se observó sólo la presencia de las componentes difusa y reflejada. Para los meses de marzo y septiembre, se notó que debido al ángulo de incidencia de la luz solar, ingresa un haz de luz directa a través de cada lucernario.

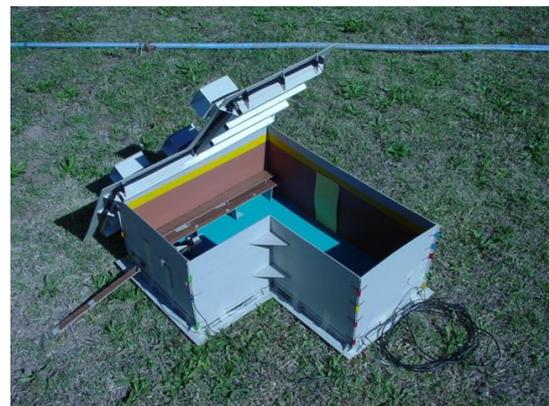


Fig. 6: Modelo a escala del espacio analizado. Vista interior, reproducción de reflectancias de las superficies

Maqueta virtual: a fin de evaluar y comparar la situación real y las propuestas de mejoramiento se realizó la simulación de las condiciones lumínicas mediante el software DIALux 4.1 (Figura 8 y 9).



Fig. 7: Modelo a escala del espacio analizado vista exterior, reproducción de la configuración de los lucernarios.

Maqueta virtual: a fin de evaluar y comparar la situación real y las propuestas de mejoramiento se realizó la simulación de las condiciones lumínicas mediante el software DIALux 4.1 (Figura 8 y 9).

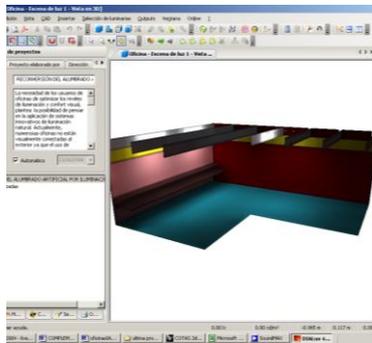


Fig. 8: Imagen de la interfase del software DIALux.

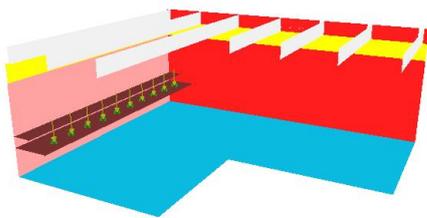
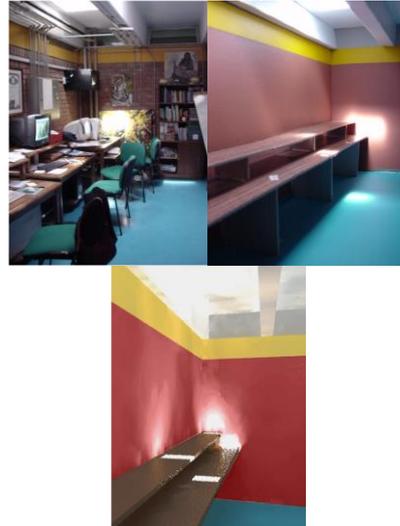


Fig. 9: Renderizado, y visualización de la ubicación de los puntos de medición de iluminancias.

3. LECTURA DE LOS DATOS OBTENIDOS

A partir de una primera evaluación de la luz natural del espacio destinado a los puestos de trabajo se detectó que puntualmente en los meses de Marzo y Septiembre existe una importante falta de uniformidad sobre los mismos. Esta situación pudo visualizarse en los tres modelos analizados (Figuras 10, 11 y 12) Los valores obtenidos se indican en la Tabla 1 y Gráfico 1. Para los restantes meses del año, los valores de iluminación y uniformidad se encuentran dentro de los rangos que recomiendan las normas.



Figs. 10, 11 y 12: Presentación visual de los tres espacios analizados; situación real y fotografía del modelo a escala e imagen de cámara capturada con el programa DiaLux, respectivamente.

Tabla 1: Valores registrados sobre el plano de trabajo en la situación real.

Espacio 21 Septiembre	
Sensor	Valor en Lux
1	98
2	133
3	188
4	273
5	424
6	681
7	14497
8	263
9	263
10	304
Uniformidad U_{min}	0,057229619

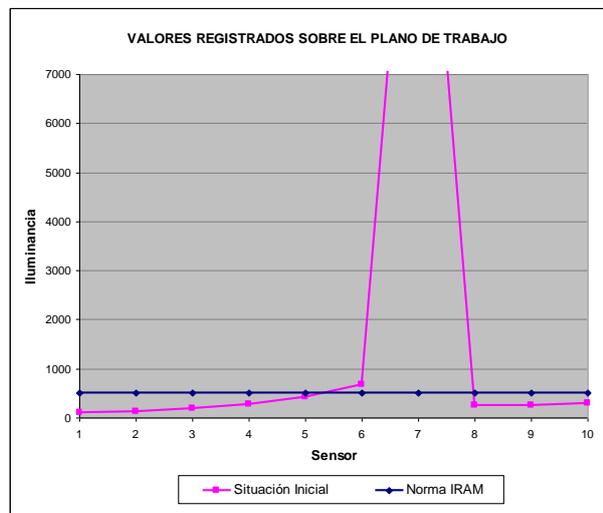


Gráfico 1: Graficación de los valores registrados sobre el plano de trabajo La línea azul marca el nivel del valor recomendado por la norma IRAM, 500lux.

4. PROPUESTA DE SISTEMA DE ILUMINACIÓN NATURAL PARA LA REFUNCIONALIZACIÓN

Se postuló como objetivo de diseño elevar el nivel general de iluminación y procurar la uniformidad de la luz natural sobre los planos principales de trabajo.

La propuesta presentada se basó en la redirección del flujo luminoso que produce la mancha de sol que se observa sobre los planos de trabajo en los meses de marzo/septiembre, reflectándola mediante la interposición de un plano de superficie acabado blanco mate, en el interior del hueco de cada lucernario. Se espera eliminar el excesivo contraste que produce la mancha solar en el campo visual de los trabajadores y generar con su redirección una fuente de luz natural secundaria que mejore la uniformidad del flujo final sobre la línea de montaje de los puestos laborales (Figuras 13 y 14).

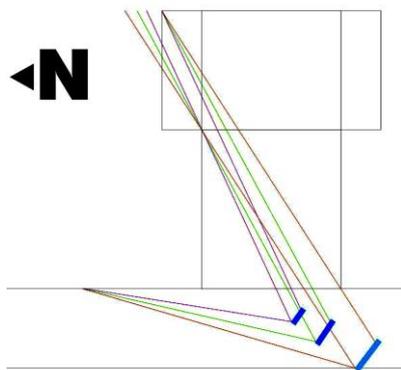


Fig. 13: Esquema de los sistemas de iluminación natural propuestos para la refuncionalización. Propuesta 1: redirección de la mancha hacia el cielo raso y difusión a partir de ese punto.

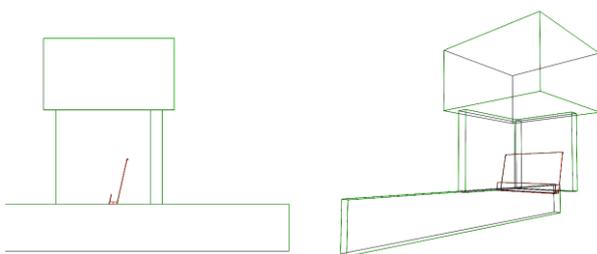


Fig. 14: Esquema de los sistemas de iluminación natural propuestos para la refuncionalización. Propuesta 2: redirección y difusión de la mancha desde la cavidad del lucernario.

Cabe señalar que los sistemas desarrollados fueron concebidos teniendo en cuenta requisitos económicos y de producción estrechamente relacionados con la realidad de la industria local, razón por la cual se planteó el desarrollo de los objetos en chapa galvanizada plagada, con acabado superficial de esmalte sintético blanco mate de muy bajo costo (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis de costos de las propuestas realizadas.

Análisis de Costos			
Propuesta 1		Propuesta 2	
Item	Precio	Item	Precio
Chapa Galvanizada - 1 mts ²	20 u\$d	Chapa Galvanizada - 1 mts ²	20 u\$d
Pintura esmalte sintético blanco mate - 1tl	6 u\$s	Pintura esmalte sintético blanco mate - 0,7tl	4,2 u\$s
Mano de obra - Plegado y pintura	20 u\$d	Mano de obra - Plegado y pintura	10 u\$d
Mano de obra - Instalación	25 u\$d	Mano de obra - Instalación	10 u\$d
Total	71 u\$d	Total	44,2 u\$d

5. RESULTADOS

En las mediciones realizadas mediante los modelos a escala y virtual luego de la aplicación de los dispositivos, se pudo observar una importante mejora en cuanto a los niveles de iluminación y coeficiente de uniformidad sobre las superficies de los planos de trabajo.

Al obtener resultados de intensidad lumínica similares sobre el plano de trabajo para ambas propuestas, y tomando como parámetro de selección la economía y simplicidad en la posterior instalación, se optó por la aplicación sobre el espacio real de la propuesta número 2.

5.1. Simulación de resultados.

En las siguientes imágenes se muestra la apariencia lumínica luego de la aplicación de los sistemas dentro del espacio interior de la oficina (Figuras 15 y 16)

Los resultados expuestos corresponden al día 21 del mes de septiembre, fecha elegida como parámetro de referencia por tratarse de la situación lumínica del año más crítica a resolver.

Cabe aclarar que durante el resto de los meses, en que la luz captada por los lucernarios es predominantemente difusa y reflejada, el dispositivo propuesto mantiene los niveles de uniformidad e iluminación habituales del recinto.

5.2. Valores Registrados.

Finalizada la instalación de los sistemas de mejora, se realizó un relevamiento fotométrico siguiendo el protocolo de medición efectuado durante la etapa de diagnóstico de la situación lumínica del espacio original

Se puede observar que en los valores obtenidos existe un alza significativa de los niveles generales de iluminación en lux, a la altura del plano de trabajo.

Si bien el aumento de la intensidad luminosa alcanza según la ubicación del punto de medición hasta un 47% (Sensor 1), la mejora más significativa se encuentra en la obtención de un Coeficiente de Uniformidad 96% más equilibrado, e incluido dentro de los parámetros de recomendación de las Normas IRAM en la Argentina. (Tabla 2 y Gráfico 2).



Fig. 15: Apariencia del espacio con Sistema de iluminación Natural, 21 de Septiembre. Modelo a escala con difusores.

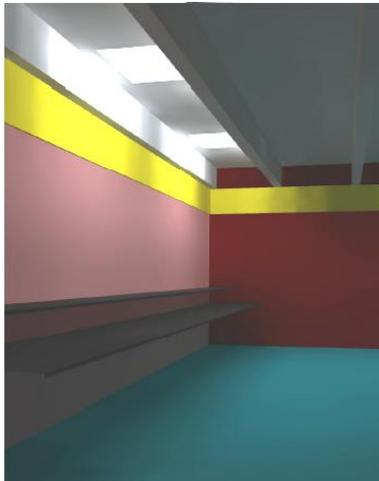


Fig. 16: Apariencia del espacio con Sistema de iluminación Natural, 21 de Septiembre. Modelo virtual con difusores.

Tabla 2: Niveles de iluminación arrojados por cada modelo y valor recomendado por la norma IRAM, 500lux.

Espacio 21 Septiembre			
Sensor	Situación Inicial	Refuncionalización	Norma IRAM
1	98	355	500
2	133	332	
3	188	382	
4	273	420	
5	424	554	
6	681	562	
7	14497	560	
8	263	567	
9	263	590	
10	304	408	
Uniformidad Um	0,057229619	0,750528541	

6. CONCLUSIONES

El presente estudio fue realizado a partir de una demanda de mejora en la iluminación por parte de los usuarios de una oficina pública. Luego de la evaluación lumínica inicial se optó por proponer una refuncionalización del sistema de

iluminación, introduciendo mediante sistemas innovativos un componente de luz natural adecuadamente controlado en función de las tareas a desarrollar en el interior del recinto.

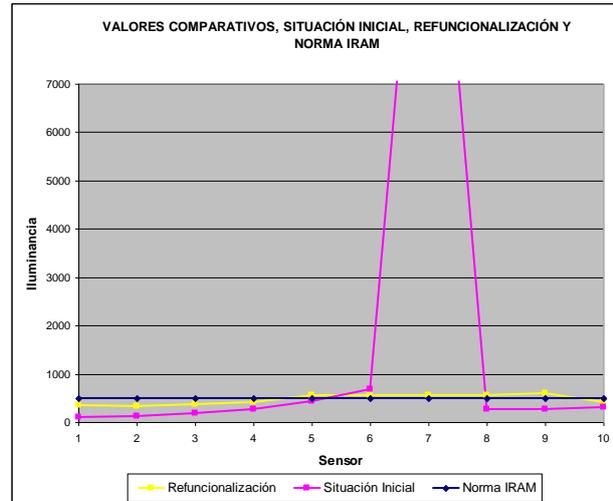


Gráfico 2: Niveles de iluminación arrojados por cada modelo. En magenta la situación inicial, en amarillo los resultados de la refuncionalización y en azul el valor de la recomendación IRAM..

El diseño de los sistemas desarrollados y la pre-visualización de resultados de su aplicación fueron posibles gracias a la utilización de herramientas de simulación tanto materiales como virtuales. Este proceso permitió obtener un mayor grado de ajuste en las etapas previas a la instalación del sistema.

Como resultado, la refuncionalización no solo optimizó los niveles de iluminación hasta en un 37%, sino que también mejoró otros aspectos de la iluminación del espacio, como la uniformidad (0,53 sobre 0,4 recomendado por la norma IRAM) y la posibilidad de obtener una referencia espacio-temporal del exterior gracias al dinamismo aportado por la luz natural.

A estos resultados se le suma el beneficio del potencial ahorro eléctrico debido a la utilización de iluminación natural, calculado dentro del espacio refuncionalizado como una cuarta parte del consumo total anual.

Finalmente, es importante destacar que la posibilidad de intervenir en el desarrollo de diseño de Sistemas Innovativos de Iluminación Natural, basados por ejemplo, estrategias de redirección de la componente solar, permite alcanzar soluciones altamente eficientes aún disponiendo de tecnologías de baja complejidad o importantes restricciones económicas.

REFERENCIAS

- Bean A.R., Bell R.I. (1992). "The CSP index: A practical measure of office lighting quality as perceived by the office workers" *Lighting Research and Technology* 24: 215-225,.
- Begemann S.H.A.; van den Beld G.J.I; Tenner A.D. (1997) "Daylight, artificial light and people in an office environment, overview of visual and biological responses", *International Journal of Industrial*

- Ergonomics, Volume 20, Number 3, September 1997 , pp. 231-239(9)
- Boyce P.R. and Cuttle C. (1994) "Lighting Evaluation Tools: a Review" Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY, USA,.
- Colombo E., Kirschbaum C. (2009). Efficient Lighting Initiative, ELI, cap. 3. <http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/eli.html>. Fecha de consulta 13 de noviembre de 2009.
- Fontoynt, M. (2002). Perceived Performance of daylighting systems: lighting efficacy and agreeableness. Solar Energy Vol. 73, No. 2, pp.83-94.
- Kirschbaum C.,Tonello G. (1997).Visual Appearance of Office Lighting,4th European Conf. on Energy-Efficient Lighting,Denmark,Vol.I, Noviembre143-148.
- Loe D.L., Rowlands E. (1996) "The art and science of lighting: A strategy for lighting design." Lighting Research and Technology 28: 153-164,
- Pattini, Andrea (2000) Recomendaciones de niveles de iluminación en edificios no residenciales. Una comparación internacional. Revista Avances en Energías Renovables y Medio ambiente. Vol. 4, Tomo I.
- Tonello, G. y Sandoval, J. (1997). Recomendaciones para iluminación de oficinas AADL.
- Veitch J. A. , Newsham GR. (1998) "Lighting quality and energy-efficiency effects on task performance, mood, health, satisfaction, and comfort." Journal of Illuminating Engineering Sec 27: 107-129 Referencias.