

EVALUACIÓN DE ASOLEAMIENTO INTERIOR E ILUMINACIÓN NATURAL PROYECTO DEL NUEVO AEROPUERTO INTERNACIONAL DE YEREVÁN

John Martin Evans¹, Alejandro Hugo Pérez², Susana Eguía³

Centro de Investigación Hábitat y Energía, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires
Pabellón 3, Piso 4º, Ciudad Universitaria, Ciudad de Buenos Aires, Tel/Fax (011) 4789-6274

E-mail: cihe@fadu.uba.ar, evans@fadu.uba.ar

RESUMEN: El siguiente trabajo presenta estudios de evaluación de confort térmico y lumínico en el Proyecto de Ampliación del Aeropuerto de Yereván, Armenia, previos a la elaboración de recomendaciones destinadas a asegurar la reducción del consumo de energía utilizada en la climatización del edificio. A tal fin, la determinación de áreas con distinto grado de exposición solar y lumínica, permitió elaborar estrategias y recomendaciones sobre el diseño de elementos de protección solar y de la envolvente exterior, y determinar características físicas de los vidrios destinados a mantener rangos confortables en la transmisión térmica y de luz visible. Los estudios concernientes al impacto solar fueron llevados a cabo con modelos a escala en el Heliodón del Laboratorio de Estudios Bioambientales del CIHE, complementados con estudios gráficos por computadora. La evaluación lumínica se desarrolló con simulaciones numéricas y modelos a escala en el Cielo Artificial. Esta metodología permitió validar las posteriores recomendaciones indicadas al comitente, demostrando una importante mejoría de las condiciones de confort térmico y lumínico interior ante condiciones climáticas de elevada amplitud térmica.

Palabras claves: protección solar, iluminación natural, transmitancia térmica, doble piel vidriada.

INTRODUCCIÓN

Los espacios públicos en aeropuertos requieren condiciones de alta calidad térmica y lumínica considerando su importancia simbólica y funcional. Así, el aeropuerto de Stansted, en Londres (Amsonet,1991), el edificio Brussimmo, en Bruselas y el Centro de las Artes, en Denver, Colorado (CAVIPLAN N°41, 1996) son ejemplos de proyectos arquitectónicos con aplicación de grandes superficies vidriadas, que logran un buen manejo de la iluminación y eficiencia energética. Este trabajo presenta la evaluación de características térmicas y lumínicas el y el desarrollo de recomendaciones destinadas a optimizar las condiciones de confort de la sala de embarque del Aeropuerto de Yereván, Armenia, situado en un clima continental, de gran amplitud térmica diaria y anual.

El proyecto de la nueva sala de pre-embarque propone un gran superficie de vidrio con orientación sur con vista hacia la pista, protegido con un gran alero, con fachadas de menor superficie al este y oeste. La planta baja del mismo edificio contiene migraciones, aduanas y devolución de equipaje para los pasajeros entrando a Armenia. Al este y oeste se encuentran edificios existentes que serán modificados en el proceso de transformación del aeropuerto. Con el objetivo de compatibilizar los requerimientos arquitectónicos y ambientales, los estudios resumidos en este trabajo, comprenden:

- Especificación de la geometría y verificación de elementos de protección solar.
- Evaluación del impacto térmico y lumínico por asoleamiento directo en piso y paredes interiores.
- Estimación de la transmitancia térmica óptima de paredes, techos y superficies vidriadas.
- Evaluación de las características ópticas y térmicas de la doble envolvente vidriada.
- Distribución de la iluminación natural en interiores.

ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS DE YEREVÁN.

La ciudad de Yereván se encuentra ubicada a 40°10' de latitud N y a 44°30' de longitud E., a una altura de 990 msnm. Presenta un clima continental con inviernos muy fríos, temperaturas medias entre -2 y -9 y una mínima absoluta de -27°C. En verano, las temperaturas medias varían entre 17°C y 34°C, con valores máxims absolutos de 40°C. La precipitación es limitada, con estación seca en primavera y verano. (Tabla 1).

¹ Director CIHE – SICyT – FADU – UBA, a cargo de la asistencia técnica.

² Investigador CIHE – SICyT – FADU - UBA

³ Investigadora CIHE – SICyT – FADU - UBA

Mes	Nro. Días	Máxima Absoluta	Media Max.	Media	Media Min.	Mínima Absoluta	HR med max.	HR med min.
Enero	31	12	-2	-5.5	-9	-27	89	69
Febrero	28	16	1	-3.5	-8	-25	87	64
Marzo	31	27	10	4.5	-1	-18	81	56
Abril	30	29	19	12.5	6	-3	70	46
Mayo	31	33	24	17	10	3	74	52
Junio	30	36	31	22.5	14	6	65	39
Julio	31	40	34	25.5	17	9	62	36
Agosto	31	39	33	25.5	18	10	66	36
Septiembre	30	34	28	20.5	13	2	71	39
Octubre	31	27	21	14	7	-2	84	47
Noviembre	30	20	10	5.5	1	-12	89	64
Diciembre	31	16	3	0	-3	-16	91	75

Tabla 1 - Datos meteorológicos del aeropuerto de Yereván (Armenia)

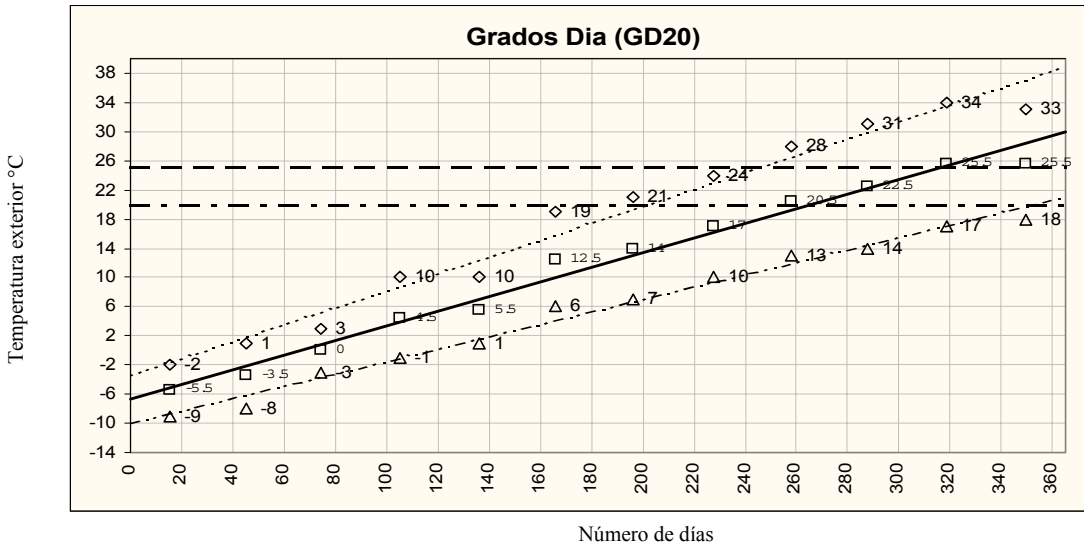


Figura 1 - Número de días del año con temperaturas inferiores a los valores indicados, con zona de confort de 20 a 25°C

El comitente requería optimizar las condiciones termo - lumínicas a fin de minimizar la demanda de energía y el costo en uso, dado que su responsabilidad en la administración del edificio se extenderá por los próximos 20 años. Para establecer las necesidades de calefacción, se determinaron los grados días, a partir de la tendencia de las temperaturas indicadas en la Figura 1, que ilustra el número de días en el año cuyas temperaturas son inferiores o superan los valores establecidos para lograr confort, donde un total aproximado de 160 días al año se encuentran dentro de las condiciones aceptables de confort sin tener que recurrir al uso de sistemas de acondicionamiento climático. De acuerdo a este gráfico se obtienen los siguientes datos:

Grados días anuales (base 20°C):	3510
Temperatura mínima de diseño (condensación):	-10°
Temperatura mínima absoluta (periodo de 17 años):	-17°
Temperatura de diseño, día cálido:	21° a 38°

EVALUACIÓN DE VALORES DE K.

Los valores máximos de transmitancia térmica en los elementos de la envolvente se establecieron sobre la base de cuatro criterios complementarios:

- Valores mínimos de transmitancia térmica para reducir el riesgo de condensación superficial. Para elementos opacos, se recomienda un valor máximo de $K=1$ Watts/m²K, por el cual se evita el riesgo de condensación superficial en situaciones críticas con limitado movimiento de aire.
- Espesor económico de aislamiento térmico para cerramientos opacos, en base a estudios de incidencia del costo de combustible, aislamiento, instalaciones, financiación de inversiones y costo térmico, se determinaron los valores recomendables de transmitancia térmica para los distintos aspectos mencionados:

1. Condiciones climáticas estándar	$K = 0.34$ W/m ² K	90 mm de aislante liviana.
2. Condiciones climáticas, máximo rigor	$K = 0.31$ a 0.34	90 a 100 mm
3. Elevado costo de la energía	$K = 0.27$ a 0.31	100 a 120 mm
4. Elevado costo de instalaciones	$K = 0.29$	110 mm
5. Alto costo de aislamiento térmico	$K = 0.47$	60 mm

- K máximo para confort, destinado a reducir sensaciones térmicas de frío cercana a superficies ‘frías’, siendo la situación mas critica la zona de fachada con doble piel vidriada por su cercanía al publico. Para este sector se recomienda un $K < 2,3$ que equivale a un doble vidrio hermético (DVH) con baja emisividad, cámara sin ventilación en invierno y vidrio exterior.
- Espesor ecológico, correspondió al análisis de espesores de aislamiento térmico destinados a minimizar las emisiones de gases en edificios con calefacción y aire acondicionado. A tal fin los valores recomendados son:
 - Aislamiento en techos $K = 0,23$, espesor de aislante liviana = 140 mm
 - Aislamiento en muros $K = 0.26$, espesor de aislante liviana = 125 mm

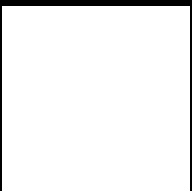
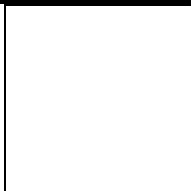
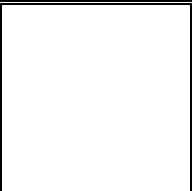
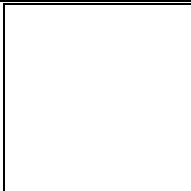
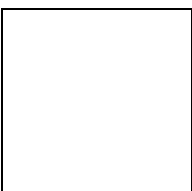
Grados-días de calefacción (GD20): 3570 Temperatura exterior de diseño: -10°C Temperatura interior de diseño: 20°C	Tasa de interés real (sin inflación): 6.00% Tiempo amortización aislamiento: 20 años Tiempo amortización instalación: 10 años
Muro: Material Aislante: Poliestireno expandido 15kg/m3 Costo por cm de espesor: U\$S 0,60 Conductividad térmica: 0.037 m3.K/W	Instalación de Calefacción Gas: Climatización Central Costo artefacto por Kcal/h: U\$S 0.25, precio internacional Rendimiento Calefacción: 82% Costo de Gas: 0.08 \$/m3, valor calorífico 9350 Kcal/m3
 Caso 1. Standard según condiciones actuales: 3570 grados días Espesor económico: 90 mm (rango de 80 a 110 mm)	 Caso 2. Mayor severidad climática: 4500 grados días Espesor económico: 90-100 mm
 Caso 3. Aumento de costo de energía: 3570 grados días Duplicación costo energía: 0,16 \$/m3 Espesor económico: 100-120 mm	 Caso 4. Duplicación costo instalación: 3570 grados días Espesor económico: 110 mm
 Caso 5. Duplicación costo aislamiento, 3570 grados días Espesor económico: 60 mm	Referencias - · - · - Amortización de la aislación etc. ———— Costo anual de energía ———— Total

Tabla 3 - Valores de espesor económico de aislamiento

Como resultado de la evaluación, se recomienda un $K=0,31$ Watts/m²K equivalente a un elemento constructivo con 100 mm de aislamiento liviano, con un valor levemente menor en techos debido a la incidencia del sol en verano.

3- Análisis del impacto de radiación solar estacional en la envolvente y hall del edificio.

Las simulaciones se realizaron para el horario de las 12:00hs, en todas las estaciones del año sobre una maqueta en escala 1:25.

3.1.Radiación solar máxima estacional.

El estudio de impacto solar requirió un análisis exhaustivo del comportamiento estacional termo-lumínico de la envolvente vidriada, especialmente las caras verticales orientadas al sur y al oeste, y la horizontal, en razón de la radiación recibida en horas

pico. La Tabla 4 registra los valores estacionales correspondientes a horas de mayor radiación en las caras mencionadas de la envolvente.

Estación	Orientación de la envolvente	Hora	Radiación directa	Radiación difusa	Radiación reflejada	Total
Solsticio de invierno (23 de diciembre)	Horizontal	11:00 a 13:00	194.91	187.21	0	382.12
	Vertical Sur		271.93	187.21	32.21	491.35
	Vertical Oeste	12:00 a 13:00	36.62	187.21	32.21	256.04
Equinoccio de primavera (23 de marzo)	Horizontal	11:00 a 13:00	408.31	269.71	0	678.02
	Vertical Sur		337.70	269.71	67.89	675.30
	Vertical Oeste	12:00 a 13:00	69.75	269.71	67.89	407.35
Solsticio de verano (23 de junio)	Horizontal	11:00 a 13:00	300.11	404.12	0	704.23
	Vertical Sur		89.10	404.12	70.22	563.44
	Vertical Oeste	12:00 a 13:00	38.11	404.12	70.22	512.45

Tabla 4. Distribución diaria de la radiación solar.

Complementariamente el estudio de impacto solar y de incidencia de sombras en la geometría edilicia fue llevado a cabo en el Heliodón del LEB del CIHE con un modelo a escala 1:1000. Los resultados de los ensayos desarrollados para los tres momentos estacionales y las 12.00 hs se detallan a continuación.

3.2. Asoleamiento sobre los elementos constructivos durante las diferentes estaciones del año.

Se ensayaron los elementos más críticos de la envolvente: las ventanas horizontales vidriadas correspondientes a la cubierta, la envolvente vertical sur constituida por una cámara de doble piel y aventanamiento sin cámara, y las ventanas orientadas al oeste.

- Envolvente vidriada en cubierta.

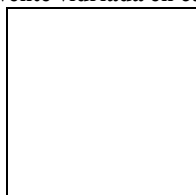


Fig. 3a. Invierno con entrada de sol Fig. 3b. Equinoccio, protección parcial Fig. 3c. Verano con protección total
Figuras 3a., 3b., 3c. Ensayo estacional de incidencia solar en áreas de cubierta vidriada.

- Envolvente vidriada vertical sur.

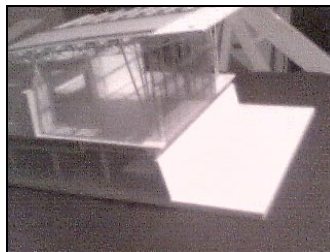


Fig. 4a. Invierno Fig. 4b. Equinoccio Fig. 4c. Verano
Figuras 4a., 4b., 4c. Ensayo estacional de incidencia solar en la fachada vidriada de doble piel orientada al sur.

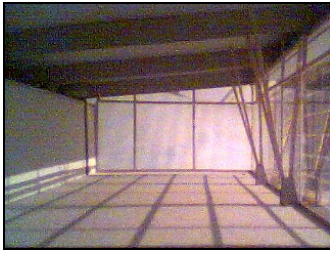


Fig. 5a. Invierno

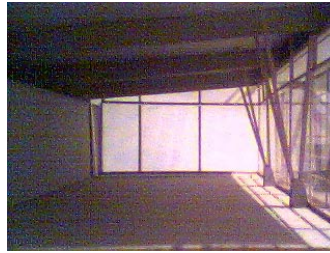


Fig. 5b. Equinoccio



Fig. 5c. Verano

Figuras 5a., 5b., 5c. Ensayo estacional de penetración solar en envolvente vidriada Sur.

- **Evaluación de asoleamiento en envolvente vidriada con orientación este.**

Las Figuras 6.a, b, c y d muestran el ingreso de sol entre las 8 y 11 hs, con una situación similar en la fachada oeste entre las 13 y 16 horas, aunque en la fachada oeste el impacto del sol es menor debido al encuentro de la rampa de acceso Como resultado de estos estudios, la fachada ventilada este y oeste tienen muy reducida transmisión de radiación y luz natural a fin de mejorar el confort visual.



Fig. 6a. 11:00hs



Fig. 6b. 10:00hs



Fig. 6c. 9:00hs



Fig. 6d. 8:00hs

Figuras 6a. , 6.b, 6.c y 6.d - Invierno: Incidencia solar interior en locales orientados al Este.

De las observaciones realizadas se concluyó que la incidencia invernal del sol sobre toda sobre la superficie de fachada, superficie interior del piso y sector inferior de muros favorece confort térmico en el interior del edificio. En equinoccios, el asoleamiento interno es parcial y se mantiene constante en un reducido sector del piso, en todas las horas del día, no presentando inconvenientes para su control. En verano, el interior permanece en sombra durante todo el día, salvo en los extremos este y oeste. El gran alero proyectado verificó la protección solar total en la fachada sur evitando la radiación directa durante las horas de asoleamiento.

EVALUACIÓN DE ILUMINACIÓN NATURAL

La evaluación de la iluminación natural interior, proveniente de las ventanas de la cubierta sobre el área pública del edificio tuvo por objetivo verificar el grado de luminancia y posibles niveles de deslumbramiento en superficies horizontales. A fin de determinar la distribución de iluminación natural en el hall, se llevó a cabo una simulación numérica con el programa "Daylight", cuyos resultados se observan en la Figura 7 (Vianna y Gonçalves, 2001).

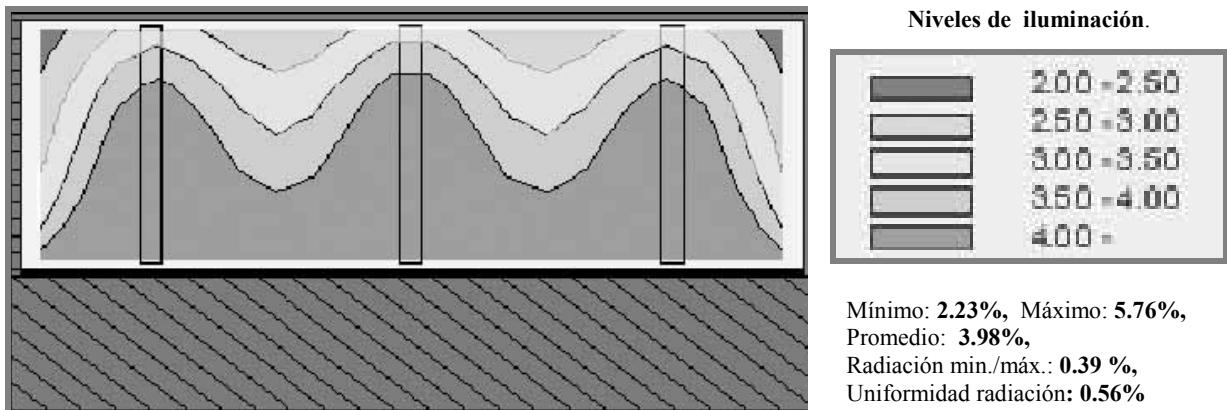


Figura 7 - Isolinias de factor de luz diurna en planta, correspondiente al área de pre-embarque, indicando la ubicación de las claraboyas que proporcionan luz cenital y el alero, graficado con rayas diagonales.

CONCLUSIONES.

A fin de elaborar una guía de recomendaciones de diseño para la tecnología a utilizar en la envolvente edilicia, las evaluaciones realizadas concernientes a las características térmicas de los materiales y al impacto solar y lumínico en el edificio condujeron a la ponderación de los resultados y a establecer distintas soluciones estratégicas, según requerimiento funcional, de confort e impacto solar detectado.

- **Elementos opacos de cubierta.** Se recomendó una transmitancia térmica K máxima en los elementos opacos de cubierta de $0,23 \text{ Watts/m}^2\text{K}$, con la incorporación de aislación térmica liviana de 140 mm y densidad de 25 kg/m^3
- **Claraboya vidriada en cubierta.** Para los elementos vidriados horizontales de cubierta se recomiendan doble vidriado hermético con tratamiento de baja emisividad a fin de asegurar una transmitancia térmica de $K = 1,8 \text{ Watts/m}^2\text{K}$. El proyecto contempla la utilización de vidrios serigrafiados con el lado exterior con característica reflectiva con transmisión de 35%.
- **Fachada vidriada sur, con cámara y doble piel.** El sector orientado al S y las paredes laterales al este y oeste, donde se concentra la mayor cantidad de público, se recomendó la utilización de una doble fachada ventilada, con doble vidriado hermético interior, tratamiento de baja emisividad y vidrio laminado absorbente exterior. La cámara ventilada tiene 4 metros de altura y rejas móviles accionadas de acuerdo a la necesidad estacional. El conjunto asegura una transmitancia térmica $K < 2,3 \text{ Watts/m}^2\text{K}$. En invierno el cierre de la cámara disminuye pérdidas, mientras permite el ingreso de radiación solar, evitando superficies interiores frías. Para las condiciones de verano se verificó un alero que mantiene la cámara (ventilada) en sombra, reduciendo la transmisión de radiación solar hacia el interior del edificio. La ventilación natural evita el sobrecalentamiento en el interior de la cámara y disminuye la temperatura de la superficie interior del vidrio .
- **Fachada vidriada sur sin cámara.** En sectores altos y alejado del público, la envolvente vidriada vertical no presenta cámara ventilada. El valor máximo de transmitancia térmica de diseño para controlar el riesgo de condensación superficial resultó $K = 2,3 \text{ Watts/m}^2\text{K}$. La solución verificada consiste en una piel de doble vidriado hermético con tratamiento de baja emisividad en el interior de la cámara. A fin de reducir el valor de transmitancia térmica, se recomienda el uso de vidrio absorbente para la hoja exterior (Wiginton, 1996) con una transmitancia de $K = 1.8 \text{ Watts/m}^2\text{K}$.
- **Fachada vidriada oeste.** Por ser la orientación más crítica y con mayores dificultades para controlar la incidencia de radiación solar horizontal en horas de la tarde, especialmente en los meses más cálidos se recomienda una piel de doble vidriado hermético, con vidrio exterior reflectivo y serigrafía, reduciendo así la transmisión de la radiación en un 35% y controlando el riesgo de deslumbramiento.

Durante el invierno, la incidencia del sol sobre la superficie del piso y el sector inferior de muros interiores favorece el acondicionamiento térmico del interior, combinado con las características de la doble piel sin ventilar que captura el calor y regula las pérdidas. En los equinoccios, el asoleamiento interno es parcial y se mantiene constante en un reducido sector del piso, en todas las horas del día. En verano el interior permanece en sombra durante todo el día, salvo en los extremos este y oeste de la sala. El gran alero garantiza la protección solar total en la fachada sur y potencia el efecto regulador de la cámara ventilada en la fachada de doble piel, protegida de la radiación durante todas las horas de asoleamiento directo. La iluminación natural obtenida a través de la cubierta vidriada alcanza índices óptimos para el confort visual, sin incorporar iluminación artificial.

REFERENCIAS

- CAVIPLAN N°41 (1996). Vidriotecnia, publicación de la Cámara del Vidrio Plano; pp. 42-45.
Amsoneit, W. (1991). Contemporary European architects, Ed. Taschen; pp. 84-87.
Evans, J.M. y de Schiller S. (1994), Arquitectura Solar y Diseño bioambiental 3° edición; Cap.7; pp.119-132.
Vianna, N. S.y Gonçalves J.C.S. (2001). Iluminação e arquitetura, 1° edición, Cap.3; pp. 25-60 y Cap.6; pp. 127-162.
Wiginton, M. (1996). Glass in architecture, 1° edición, Cap.04; pp. 218-238 y Cap.5; pp. 239-303.

SUNLIGHT AND DAYLIGHT EVALUATION PROJECT FOR THE NEW YERIVAN INTERNATIONAL AIRPORT

ABSTRACT: This paper presents studies to evaluate thermal and luminous comfort in the project for the new International Airport of Yerevan, Armenia, and the development of recommendations to reduce the energy demand for the conditioning of the building. The solar radiation impact study and daylight evaluation allowed the development and definition of strategies and recommendations for design of solar protection, choice of optical and thermal characteristics of glazing and levels of thermal insulation to promote comfort and achieve appropriate quality of natural illumination. The initial studies of solar impact were carried out with scale models in the heliodon, supported by computer graphic studies. The evaluation of daylight was developed with numerical simulation and scale models in the artificial sky. These studies and simulations contributed to the development of recommendations presented to the client, achieving a significant improvement of thermal comfort with good daylight distribution in a continental climate with high temperature swings.

Keywords: solar protection, natural illumination, thermal transmission.