



**ENTAC2006**

A CONSTRUÇÃO DO FUTURO | XI Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído | 23 a 25 de agosto | Florianópolis/SC

## **NUEVOS ENFOQUES ARQUITECTÓNICOS. PROTECCIÓN SOLAR: ENVOLVENTES CON MALLAS METÁLICAS**

**John Martin Evans y Carlos Raspall**

Centro de Investigación Hábitat y Energía

Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires

evansjmartin@gmail.com carlosraspall@fibertel.com

### **RESUMEN**

**Objetivo:** Mallas metálicas exteriores de acero inoxidable ofrecen una nueva manera de incorporar protección solar en las envolventes exteriores de edificios con grandes superficies vidriadas. Esta innovación plantea la necesidad de estudiar su eficacia como elemento de protección solar y filtro lumínico, así como el requerimiento de obtener los datos de su comportamiento térmico y lumínico.

**Método:** Este trabajo presenta los estudios realizados para determinar las características del material y su aplicación en un nuevo proyecto de oficinas en Buenos Aires que incorpora este recurso. La transmisión de las mallas fue medida en un equipo especial con un fotómetro y piranómetro para distintos ángulos de incidencia, tanto en el plano horizontal como vertical. Con estos datos, se desarrolló un método para evaluar la transmisión específica según la orientación e inclinación de la fachada y la incidencia del sol en distintas épocas del año, aplicando una planilla electrónica.

**Resultados:** Se presentan los resultados de dicha evaluación y un estudio comparativo entre dos tipos de mallas metálicas y dos tipos de vidrios de baja transmisión de radiación solar. Adicionalmente, se presentan recomendaciones para el uso de mallas metálicas en proyectos de oficinas con fachadas vidriadas. **Aporte original:** Los estudios demuestran un método de evaluar el comportamiento de un material nuevo en la región y lograr edificios de alta calidad ambiental y de menor impacto.

Palabras claves: Protección solar, mallas metálicas, iluminación natural, transmisión de radiación.

### **ABSTRACT**

**Objective:** External metal meshes of stainless steel offer a new way of incorporating solar protection in buildings facades with large glazed surfaces. This innovation requires specific studies of the material as a filter of solar radiation and daylight, in order to obtain data on the thermal and lighting performance. **Method:** This paper presents tests undertaken to analyze and ascertain the characteristics of this material and its application in a new office project in Buenos Aires, which incorporate this new material. The transmission of the meshes was measured using a photometer and piranometer for different angles of incidence in both the vertical and horizontal plane. With these data, a method was developed to evaluate the specific transmission according to the inclination and orientation of each facade and the solar incidence for different hours of the day and seasons of the year, applying an electronic spreadsheet. **Results:** The assessment carried out is presented together with a comparative study of two different meshes and two types of low solar transmission glazing. Additionally, recommendations are presented for the use of metallic meshes in offices with glazed facades. **Originality:** The studies show the development of a method to evaluate the performance of a new material in the region, allowing the development of buildings with high environmental quality and low impact.

Key words: Solar protection, metal mesh, daylight, radiation transmission

## 1 INTRODUCCIÓN

Varios proyectos arquitectónicos recientes incorporan mallas metálicas de acero inoxidable como elemento de protección solar y filtro lumínico. La primera aplicación en escala importante fue el Proyecto de la Biblioteca Nacional de Francia, del arquitecto Penualt (Perrault, 1998) inaugurado en 1996. Mas recientemente Herzog y De Meuron utilizaron este recurso en el Museo de Historia Natural de San Francisco en los Estados Unidos (Ursprung, 2002). Las mallas presentan una nueva solución tecnológica con interesantes características estéticas. Esta solución ofrece potencialmente una alternativa a la piel de vidrio especial con características absorbentes o reflejantes, permitiendo el uso de vidrio incoloro de menor costo. Así se evitan posibles problemas producidos por reflejos exteriores molestos tanto como el efecto ‘espejo’ interior a la noche o la falta de confort debido al calentamiento de vidrios absorbentes (Wigginton, 1996).

Sin embargo, el comportamiento de estas nuevas pieles metálicas no es tan conocido como las pieles vidriadas. Los datos publicados indican la transmisión de radiación y luz para limitadas variaciones de ángulos de incidencia. En este trabajo se presenta un estudio realizado sobre las características generales de mallas metálicas y su comportamiento ambiental en una aplicación específica, el proyecto en Buenos Aires para la sede central de Aerolíneas Argentinas.

El proyecto, ganador de un concurso por invitación, proponía utilizar la malla metálica en la envolvente exterior del edificio de carácter administrativo como recurso de acondicionamiento ambiental, sumado a su valor estético y cualidades técnicas, Figura 1.



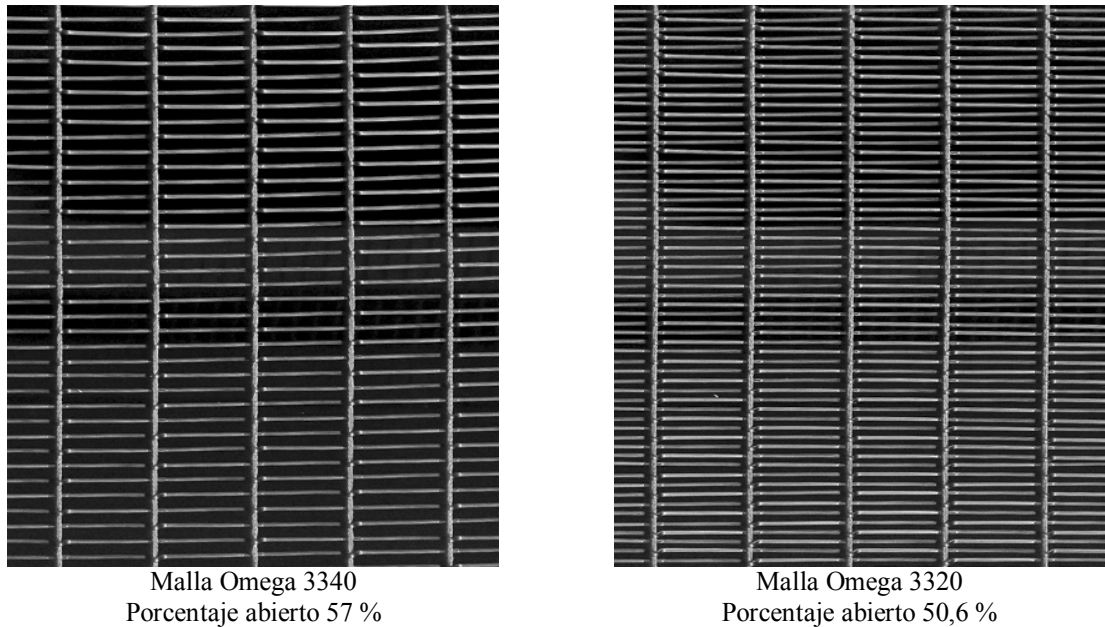
**Figura 1. Maqueta del proyecto ganador del concurso para la nueva sede de Aerolíneas Argentina “Ciudad Aerolíneas Argentina”, indicando las fachadas con mallas metálicas, Proyecto del estudio Baudizzone Lestard Arquitectos.**

El equipo de proyecto solicitó al Centro de Investigación Hábitat y Energía una evaluación de su comportamiento térmico y lumínico, así como las características de transmisión de radiación solar y luz natural. Los resultados obtenidos permitieron seleccionar las mallas más apropiadas, considerando costos y características de transmisión, y dimensionar las instalaciones termomecánicas del edificio con mayor confiabilidad y economía de recursos, Figura 2.

El presente trabajo analiza características de fachadas con mallas metálicas verticales e inclinadas, y explicita el desarrollo de técnicas para evaluar el grado de protección solar. Una característica importante de los diseños de mallas es la variación en los niveles de protección solar que se logra según el ángulo de incidencia en sentido horizontal y vertical, debido al tamaño y separación del tejido en cada sentido. El trabajo presenta la metodología adoptada, los resultados generales obtenidos y la

evaluación de su aplicación en una aplicación específica de proyecto. En este aspecto, los vidrios especiales tienen un comportamiento distinto dado que sus características dependen del ángulo de incidencia sin variación en el plano vertical u horizontal.

Se presenta la metodología adoptada, los resultados generales obtenidos y la evaluación de su aplicación en una aplicación específica de proyecto.



**Figura 2. Muestras de mallas metálicas de acero inoxidable, indicando dos alternativas con distintos porcentajes de superficie abierta, con ingreso de luz perpendicular al plano de la malla.**

## **2 METODOLOGÍA**

### **2.1. Etapas**

La evaluación de las características térmicas y lumínicas de las mallas de acero inoxidable fue realizada en varias etapas, considerándose la siguiente combinación de factores: coordenadas geométricas del sol, incidencia sobre cada fachada según orientación e inclinación, intensidad de radiación solar resultante, factor de sombra de mallas según ángulo de incidencia en plano horizontal y vertical basado en mediciones en laboratorio, proporción del vidrio en sombra debido a elementos de protección entre malla y vidrio, y transmisión de doble vidrio. La combinación de todos estos factores, integrados en una planilla electrónica y presentada en forma gráfica, permite evaluar la carga térmica de radiación solar directa, difusa y reflejada, según hora y estación del año.

La metodología adopta las siguientes etapas:

- Medición de las características de transmisión de las mallas según ángulo de incidencia en el plano horizontal y vertical.
- Medición de las características de vidrio doble incoloro con cámara de aire sellada herméticamente.
- Cálculo del ángulo de incidencia del sol directo sobre la fachada, según su orientación e inclinación en cada hora del día y cada época del año. Cabe aclarar que el edificio en estudio presenta una fachada fuertemente inclinada.
- Evaluación de la intensidad de la radiación solar directa, difusa y reflejada que incide en cada fachada.
- Estimación de la radiación solar y luz transmitida por cada fachada según ángulo de incidencia e intensidad de la radiación solar directa, difusa y reflejada, en cada hora y cada época del año.
- Comparación de los resultados con mallas metálicas y vidrios incoloros, y vidrios especiales con bajo FCS, Factor de Calor Solar.

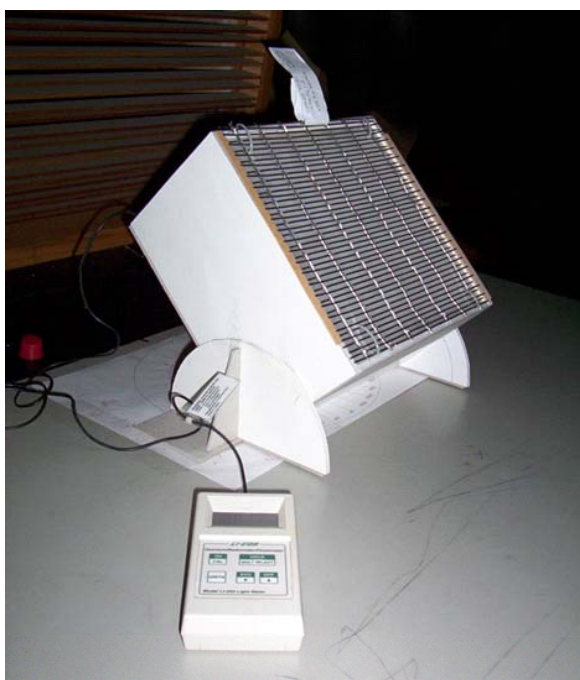
Adicionalmente, se realizó un estudio de la reducción de radiación solar obtenida por el balcón de mantenimiento y limpieza y los elementos verticales de la estructura incorporados en la fachada.

## **2.2. Mediciones de las características de mallas y vidrios**

La primera etapa llevada a cabo fue la medición de las características de la transmisión óptica de la malla para distintas combinaciones de ángulos de incidencia en el plano horizontal y vertical. Para este fin se construyó un equipo para registrar la transmisión de luz y radiación solar, Figura 3, según el ángulo de incidencia en el plano horizontal y vertical. Las mediciones corresponden a intervalos de  $10^\circ$ , entre  $90^\circ$  y  $0^\circ$ , comparando los registros con y sin malla, para identificar la atenuación debida al coseno del ángulo de incidencia y de la malla.

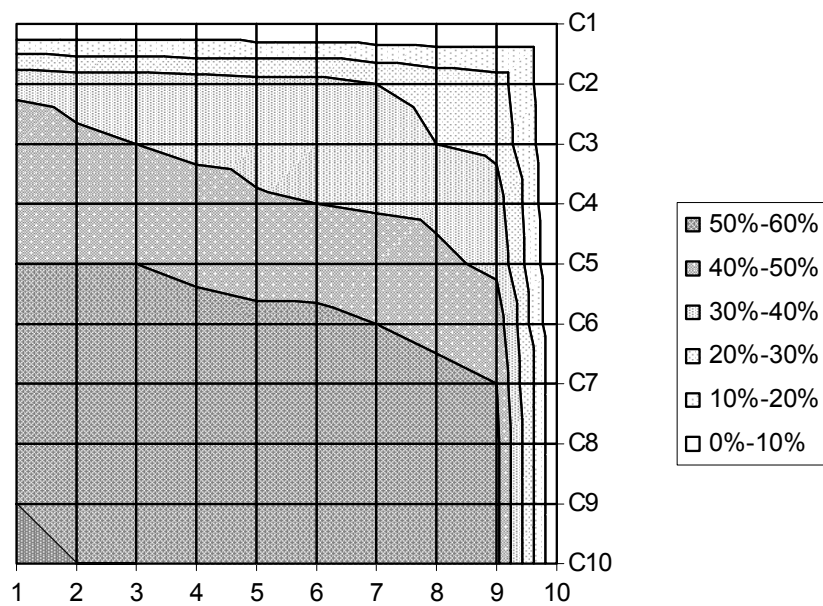
La fuente de luz fue una lámpara incandescente de 200W ubicada a una distancia de 2 metros y la fuente de radiación una lámpara halógena de 500W a una distancia de 1,50 metros. Las mediciones fueron realizadas en un local con superficies oscuras, limitando la radiación difusa y reflejada a valores menores a 5 %.

Se configuró una matriz de 81 datos obtenidos de las mediciones, los que fueron incorporados en una planilla electrónica a fin de visualizar rápidamente los resultados y facilitar su aplicación directa. Se obtuvo así un gráfico de la variación de transmisión de luz según el ángulo de incidencia en el plano vertical y horizontal para cada muestra evaluada.

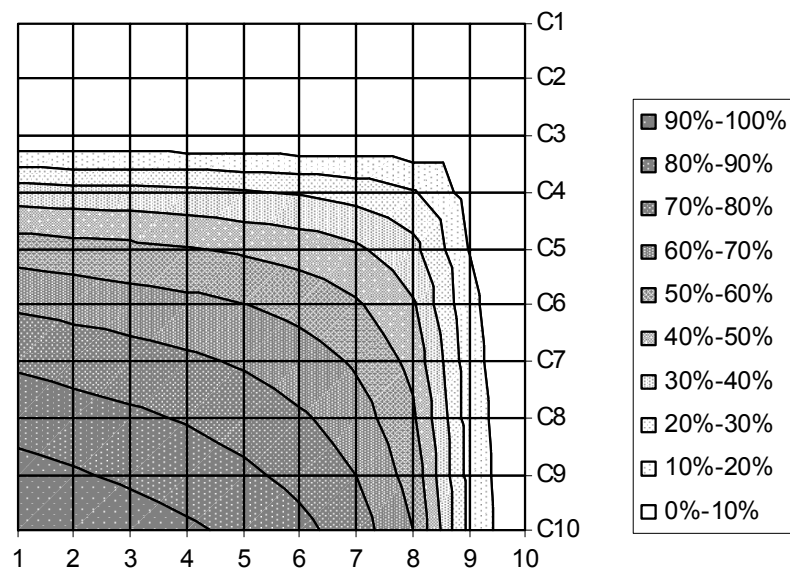


**Figura 3. Equipo fabricado para medir la transmisión de luz y radiación solar. La caja de ensayo es de inclinación y orientación variable, y su interior se encuentra forrado con papel negro mate. La transmisión de luz y radiación solar se registraron respectivamente con un fotómetro y un piranómetro, analizando en forma comparativa los valores obtenidos con y sin malla metálica.**

El próximo paso consistió en realizar mediciones similares con doble vidrio incoloro con cámara de aire sellada herméticamente, con el fin de evaluar el efecto combinado de una doble fachada de malla exterior y vidrio doble interior.



**Gráfico 1. Transmisión de la malla metálica según ángulo de incidencia en plano horizontal y vertical.**  
**Eje horizontal (1-10), ángulo de incidencia en el plano horizontal: Desde 0°, perpendicular a la fachada, a 90° paralelo a la fachada**  
**Eje vertical (C10-C1), ángulo de incidencia en el plano vertical : 0° horizontal a 90° vertical**



**Gráfico 2. Protección solar del alero y elementos verticales en la fachada**

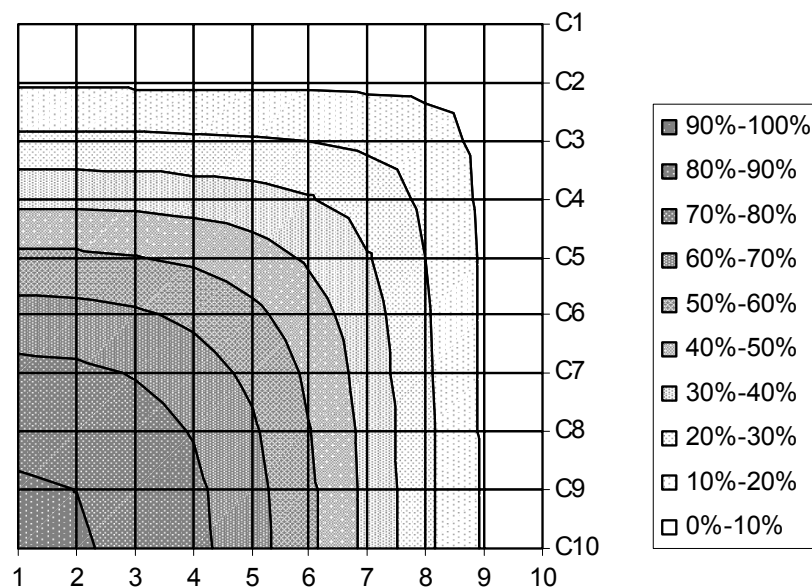


Gráfico 3. Transmisión del vidrio doble con cámara de aire (DVH).

Para cada ángulo de incidencia de la radiación solar directa, se obtiene la transmisión del producto de los valores en los gráficos 1, 2 y 3, según el ángulo en plano horizontal y vertical.

### 2.3. Radiación solar.

Con el programa de simulación desarrollado en el CIHE y basado en URBAN (Santamouris, 2001), se obtuvieron valores del ángulo de incidencia del sol en el plano horizontal y vertical, para cada fachada según su orientación e inclinación. A modo de ejemplo, el gráfico 4 indica la graficación de los ángulos horarios de incidencia sobre la fachada Nordeste para cada hora del día, según la trayectoria del sol.

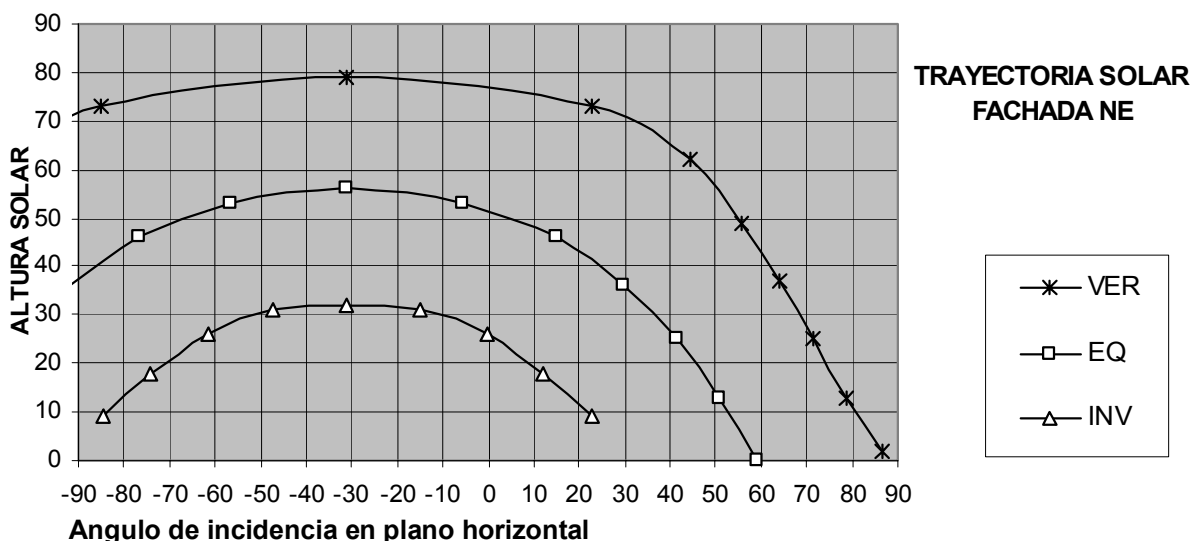


Gráfico 4. Ángulos de incidencia del sol en el plano de la fachada.

El mismo programa indica la intensidad de radiación solar directa, difusa y reflejada para días con cielo claro, la cual presenta la situación más crítica para el diseño de las instalaciones de acondicionamiento artificial. En el programa de simulación, el valor  $K_t$ , de transparencia de la

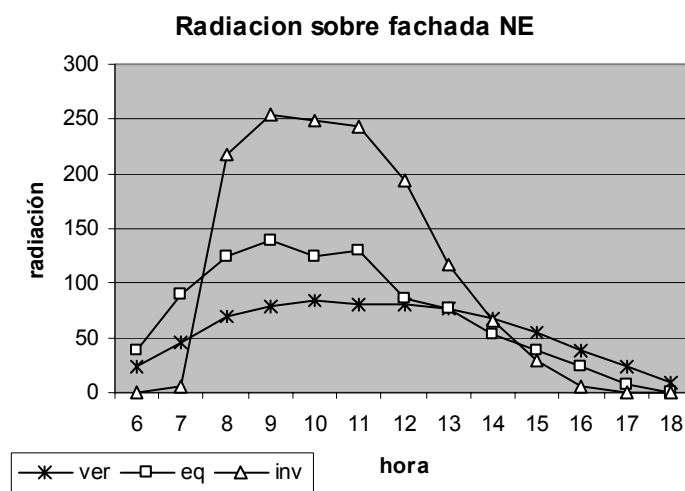
atmósfera, fue ajustado para lograr la misma intensidad que la registrada en mediciones realizadas en días de cielo claro en Buenos Aires en los mismos momentos del año.

#### 2.4. Transmisión de luz y radiación.

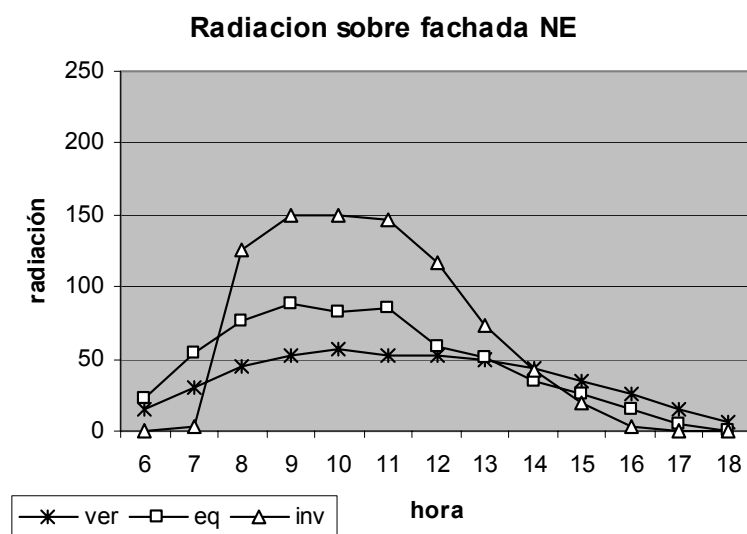
Los datos publicados por los fabricantes indican solamente la transmisión de luz y radiación con incidencia perpendicular a la malla. En este caso, se obtiene la transmisión de radiación para cada hora del día y cada mes, según tres variables:

- características general de transmisión de la fachada compuesta por malla, vidrio y aleros en combinación,
- orientación e inclinación de cada fachada
- trayectoria del sol, según la altura angular y azimut del sol en cada hora y cada mes del año.

El gráfico 5 presenta un ejemplo de los resultados de este proceso de evaluación, correspondiente a la fachada con orientación nordeste.



**Gráfico 5. Radiación en W/m2 transmitido a través de una fachada con malla, doble vidrio incoloro y aleros. En esta orientación, la radiación transmitida en verano llega a un valor máximo de 100 W/m2 debido al ángulo de incidencia (ver gráfico 4) mientras la radiación en invierno es mayor.**



**Gráfico 6. Radiación en W/m2 transmitido por DVH, dos vidrios con cámara de aire sellado herméticamente, vidrio exterior con tratamiento reflejante.**



Se puede compara la intensidad de radiación con la radiación incidente sobre la misma fachada y la radiación transmitida por una fachada con 85 % vidrio doble con un vidrio exterior reflejante con un FCS, factor de calor solar de 25 %, indicada en el gráfico 9.

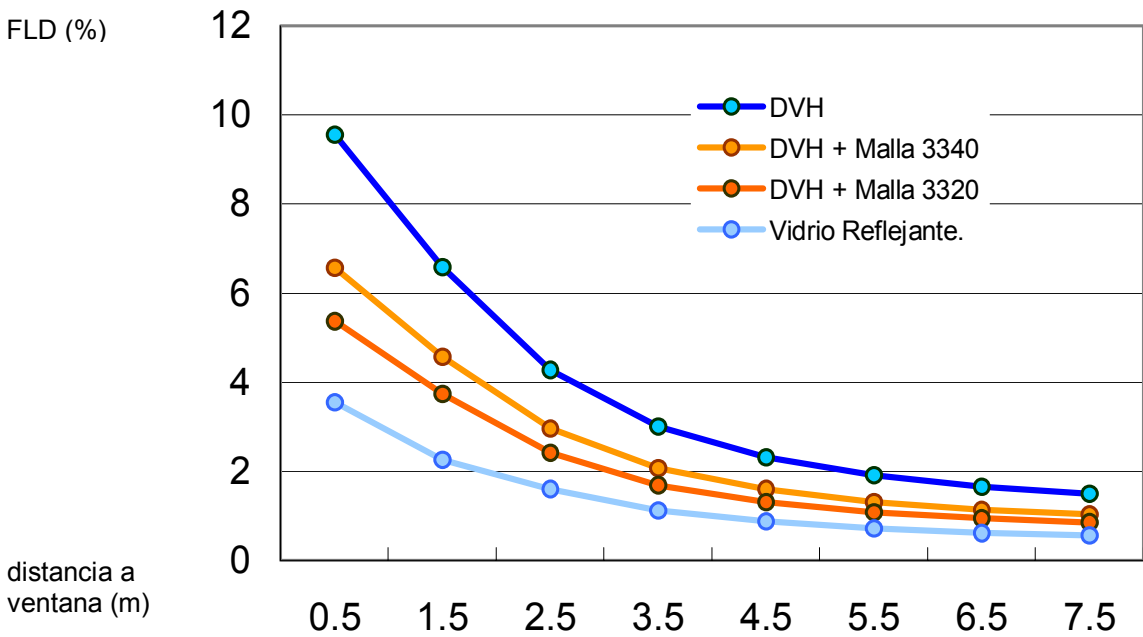
La transmisión de las malas metálicas ensayadas con un porcentaje de superficie abierta de 50 a 57 % en combinación con dos vidrios incoloros es mayor que una fachada con un vidrio exterior reflejante y un vidrio interior incoloro. Se seleccionaron distintas transmisiones de mallas según la incidencia del sol, permitiendo una variación térmica sin afectar el aspecto uniforme de las fachadas en conjunto.

### 2.5. Iluminación natural.

Si bien en el proyecto el objetivo principal del uso de las mallas es el control solar, es relevante considerar que ellas afectan el nivel y distribución de iluminación natural en los espacios interiores de oficinas. Por tal razón, se realizaron estudios del nivel y distribución de luz natural en interiores con maquetas en el cielo artificial del laboratorio del CIHE, complementados con programas de simulación numérica, cuyos resultados se indican en el gráfico 7.

**Tabla 1. Factor de luz diurna según distancia de la fachada con doble vidrio incoloro sellado herméticamente (DVH), vidrio con mallas y vidrio reflejante con características comparables.**

Distancia a Ventana	Tipo de Protección			
	DVH	DHV + malla 3340	DVH + malla 3320	Vidrio Reflejante
0,50m	9.56	6.56	5.37	3.54
1.50m	6.58	4.56	3.73	2.26
2.50m	4.28	2.95	2.42	1.60
3.50m	3.01	2.07	1.69	1.12
4.50m	2.31	1.59	1.30	0.86
5.50m	1.91	1.31	1.07	0.71
6.50m	1.65	1.13	0.93	0.61
7.50m	1.49	1.02	0.85	0.55



**Gráfico 7. El factor de luz diurna (eje vertical) según distancia de la fachada (eje horizontal) con doble vidrio incoloro sellado herméticamente (DVH), vidrio con malla y vidrio reflejante con características comparables.**



La Norma IRAM-AADL J 20-02 (1969) recomienda un factor de luz diurna (FLD) de 2 % en oficinas. Con este criterio, un doble vidrio DVH de vidrio incoloro permite obtener buenos niveles de iluminación hasta 5 metros de la fachada. Con las mallas evaluadas en este estudio, la distancia oscila entre 3 y 4 metros, según su transmisión de luz. Finalmente, se estudió un vidrio reflejante con un factor de control solar de 25 %, que permite iluminación natural solamente en una franja de 2 metros desde la fachada.

### **3 RECOMENDACIONES**

Las mallas metálicas se fabrican en anchos hasta 6 metros y largos que exceden 20 metros, permitiendo una cortina suspendida continua sin cortes de 4 pisos de altura. Estas cortinas requieren un apoyo estructural superior e inferior. La fijación inferior incorpora resortes para mantener la malla tensada, evitando movimiento con la acción del viento y logrando una superficie exterior lisa y plana.

Dado que las mallas son fijas, se requiere acceso para su limpieza. En el caso del edificio en estudio, los aleros de 80 cm de ancho y un espacio de circulación con un ancho de 90 cm entre malla y vidrio, permiten acceder al lado interior de la malla y exterior de los vidrios para limpieza.

Considerando que las mallas de acero inoxidable reflejan la radiación solar directa, los proyectistas mostraban preocupación por posibles molestias visuales debido a reflejos provenientes de espacios exteriores, especialmente el impacto del sol reflejado hacia la autopista frente al edificio. Se realizaron estudios de la intensidad de luz reflejada y los ángulos de rayos reflejados, los que indicaban bajos niveles de luz reflejada, comparado con vidrios comunes o especiales. Además, por la orientación del edificio y la ubicación relativa de la autopista, se demostró que los reflejos no producen reflejos molestos.

### **4 CONCLUSIONES**

Las mediciones de características ópticas de mallas metálicas y la metodología desarrollada, que integra distintos recursos de protección solar y visualiza su eficacia, permiten cuantificar beneficios energéticos de las instalaciones de acondicionamiento térmico, favoreciendo un diseño ambientalmente eficiente.

Los resultados indican que la fachada con mallas con las características analizadas tiene una transmisión mayor que los sistemas de vidrio con bajo factor de calor solar. Sin embargo, la fachada con mallas metálicas tiene otras ventajas: mayor transmisión de luz natural, eliminación de reflejos molestos en espacios exteriores y reflejos interiores nocturnos, uso de vidrio incoloro sin distorsión de colores, y menor calentamiento de los vidrios por la ubicación exterior de la malla ventilada.

El método presentado en este trabajo y aplicado al edificio ‘Ciudad Aerolíneas Argentinas’ permitió cuantificar y evaluar el ahorro de energía, identificar soluciones con cargas térmicas controladas y comparar la demanda pico de refrigeración con otros tratamientos alternativos de fachadas tales como vidrios especiales con alta reflexión y parasoles convencionales. Se evaluó también la calidad y distribución de iluminación natural con simulaciones numéricas y ensayos en laboratorio con maquetas en el cielo artificial.

Las innovaciones tecnológicas de fachadas son frecuentemente adoptadas por su impacto visual o aporte a la imagen arquitectónica. En este caso, las características lumínicas y térmicas de una fachada innovadora fueron evaluadas en detalle en la etapa de anteproyecto, asegurando un resultado que ofrece confort para los usuarios y economía para las instalaciones termomecánicas, acorde con las expectativas de los proyectistas y el comitente.

## 5 REFERENCIAS

- IRAM, **IRAM-AADL J 20-02: Iluminación Natural en Edificios, Condiciones Generales y Requisitos Especiales**, IRAM, Buenos Aires, 1969.
- LONGMORE, J., **BRS Daylight Protractors**, HMSO, Londres, 1968
- PERRAULT, D., **La Bibliothèque Nationale de France**, Birkhäuser editions, Switzerland, 1995.
- SANTAMOURIS, M., Ed, **Energy and climate in the urban environment**, James and James, Londres, 2001.
- URSPRUNG, P., Ed., **Herzog & De Meuron: Natural History**, Montreal and Baden: Canadian Centre for Architecture and Lars Muller Publishers, Montreal, 2002.
- WIGGINTON, M., **Glass in Architecture**, Phaidon Press, Londres, 1996.

## 6 RECONOCIMIENTOS

Los autores agradecen la iniciativa de los proyectistas por el encargo de medir y evaluar las características de la transmisión de mallas metálicas en una importante aplicación arquitectónica. El equipamiento del Laboratorio y la capacidad de simulación fue desarrollado en el marco de programas de investigación con financiación de la Universidad de Buenos Aires, incluyendo Proyecto UBACyT A 020 'Certificación de edificios sustentables y el Mecanismo del Desarrollo Limpio' aplicado al sector edilicio'.