



Fundación Príncipe Claus para la
Cultura y el Desarrollo

**INSTITUTO DE ARQUITECTURA TROPICAL
INSTITUTE FOR TROPICAL ARCHITECTURE**

**FUNDACION PRINCIPE CLAUS PARA LA CULTURA Y EL DESARROLLO
PRINCE CLAUS FUND FOR CULTURE & DEVELOPMENT**

IMPACTO SOLAR EN FACHADAS. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS TERMO-LUMÍNICAS EN ENVOLVENTES VIDRIADAS

**Susana Eguía, John Martin Evans,
Julian Evans, Alejandro Pérez**

ARGENTINA

**IMPACTO SOLAR EN FACHADAS. METODOLOGÍA PARA
LA DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS TERMO-
LUMÍNICAS EN ENVOLVENTES VIDRIADAS**

**Susana Eguía, John Martin Evans,
Julian Evans, Alejandro Pérez**

Centro de Investigación Hábitat y Energía (CIHE), SICyT
Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo,
Universidad de Buenos

**I CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO
SUSTENTÁVEL X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO
AMBIENTE CONSTRUÍDO**

18-21 julho 2004, São Paulo.

RESUMEN.

El comportamiento de la envolvente edilicia y su implicancia en el consumo energético, constituyen una preocupación creciente en países de la Unión Europea, donde las normativas y la concientización sobre el impacto del consumo energético en edificios promueven la adopción de estrategias de optimización del diseño arquitectónico. Este trabajo presenta la metodología y los resultados de estudios de impacto solar aplicados en la envolvente vidriada y en espacios interiores, requeridos en la etapa de desarrollo proyectual para un conjunto de edificios ubicados en la ciudad de Barcelona. La evaluación y diagnóstico se desarrollaron en el Centro de Investigación Hábitat y Energía, de la FADU – UBA, e implicaron simulaciones computacionales del comportamiento térmico y lumínico, simulaciones con modelos a escala en Heliodón y Cielo Artificial y cálculos en planillas electrónicas. Los resultados de la evaluación del impacto solar en las distintas orientaciones de fachadas, permitieron establecer las características genéricas necesarias de transmisión de luz visible y radiación del vidrio que conformaría la envolvente y proponer la implementación de estrategias adicionales de protección solar.

Palabras clave: impacto de radiación solar, doble piel vidriada, iluminación natural.

1. INTRODUCCIÓN.

La concientización acerca del impacto que el consumo energético edilicio produce en el ambiente y en la existencia de las reservas fósiles, constituye una preocupación de creciente relevancia en países de la UE, donde la adopción de estrategias de optimización del diseño de edificios es un aspecto a estudiar durante todo desarrollo proyectual (BAKER, N. et al.). En este contexto, la verificación del comportamiento de la envolvente edilicia, su incidencia en el consumo energético, y la adopción de estrategias de reducción del consumo, constituyeron condicionantes para la toma de decisiones durante la etapa de Proyecto del conjunto edilicio desarrollado por el estudio Chiperfield de Londres, destinado a albergar la Ciutat Judicial de Barcelona i Llobregat,

Uno de los requerimientos de proyecto era la completa climatización, pero incorporando al mismo tiempo estrategias pasivas para reducir el consumo de energía. El conjunto conformado por once edificios y un núcleo conector, requirió la evaluación del impacto solar en la piel vidriada edilicia y espacios interiores, con el fin de determinar el comportamiento termo-lumínico del diseño de la envolvente para las distintas orientaciones y situaciones estacionales. Los resultados del estudio permitieron establecer características genéricas de transmisión de luz visible y radiación del vidrio a utilizarse en la envolvente, que garantizaran el adecuado confort termo-lumínico.

La evaluación incluyó el análisis climático de Barcelona y posteriormente, el estudio de impacto solar en dos instancias: 1. a escala conjunto edilicio, y 2. a escala de locales y aberturas, una vez que fuera determinada la afectación solar en cada fachada edilicia.

Los estudios combinaron ensayos de modelos a escala en el Heliodón y Cielo Artificial, que conforman el equipamiento del Laboratorio de Estudios Bioambientales. Simultáneamente, se realizaron simulaciones gráficas en maquetas electrónicas y simulaciones de comportamiento lumínico.

2. EL PROYECTO EDILICIO.

El Proyecto desarrollado por el Estudio Chiperfield y Asoc. de Londres destinado a la Ciutat Judicial de Barcelona i Llobregat, es un conjunto de edificios, (Fig. 1) conformado por volúmenes simples integrados entre el nivel de PB y el piso cuarto por un elemento conector o atrio, destinado a ser un espacio público cubierto que permita el acceso a seis de los edificios. Las condiciones de asoleamiento y obstrucción entre volúmenes constituyó uno de los objetivos en la primera etapa de estudio.



Fig. 2. Vista modelizada del conjunto

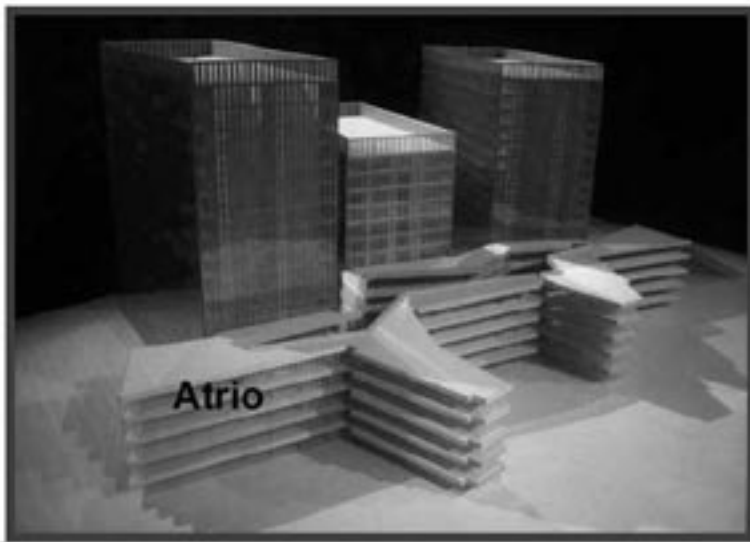


Fig. 1 Maqueta del atrio y su relación con edificios del conjunto

Considerando desde un comienzo el requerimiento de incorporar estrategias pasivas para disminuir el consumo de energía, la envolvente fue diseñada como una pantalla de doble piel vidriada y hormigón a fin de controlar las ganancias por radiación directa y las pérdidas térmicas, reduciendo de esta forma las cargas del sistema de climatización. El atrio-calle es ventilado naturalmente, y constituye un espacio a temperaturas confortables tanto en verano como invierno.



Fig. 3. Vista exterior de las ventanas

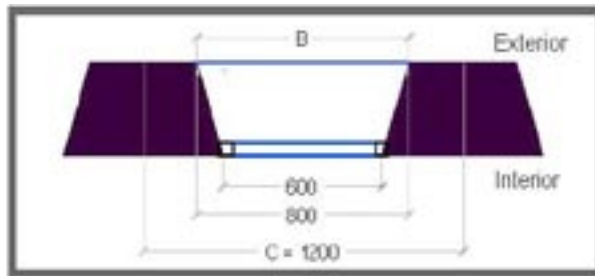


Fig. 4. Sección horizontal de una ventana tipo

La envolvente está constituida por aberturas continuas rectangulares de 2.84 mts de altura y un ancho variable, entre 0.70 mts en el exterior y 0.60 mts en el interior. El dintel de la ventana presenta un espesor constante de 0.35 mts. Alberga un vidrio simple exterior, una cámara de aire y un doble vidriado hermético interior, conformando de esta manera una doble piel de triple vidriado. El vidrio

matizado que diferencia los distintos volúmenes por un color, constituye el 66% de la superficie. La geometría y materialidad de los aventanamientos descritos fueron el objeto de verificación en la segunda etapa, con relación a las condiciones de transmisión solar termo-lumínica.

El proyecto se ubica en Barcelona, a una latitud de $41^{\circ} 24'$, donde la distribución de la temperatura horaria y estacional, según se observa en el gráfico 3, presenta un rango extendido de temperaturas pico en verano entre las 10:00 y las 20:00 horas (Pearce, E y Smith, C.).

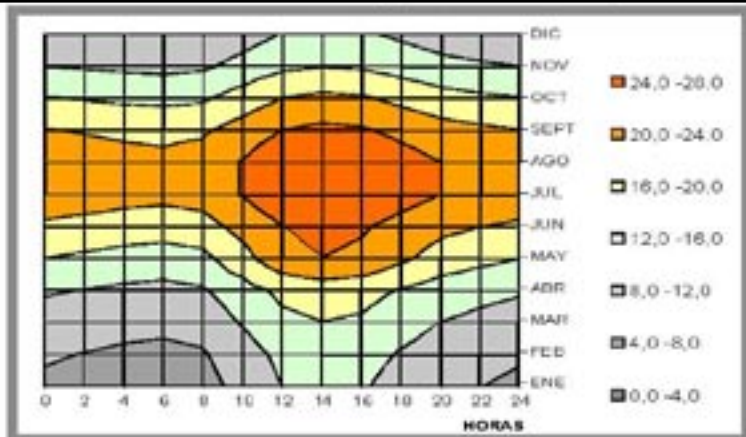


Gráfico 1. Barcelona. Distribución horaria y estacional de temperaturas

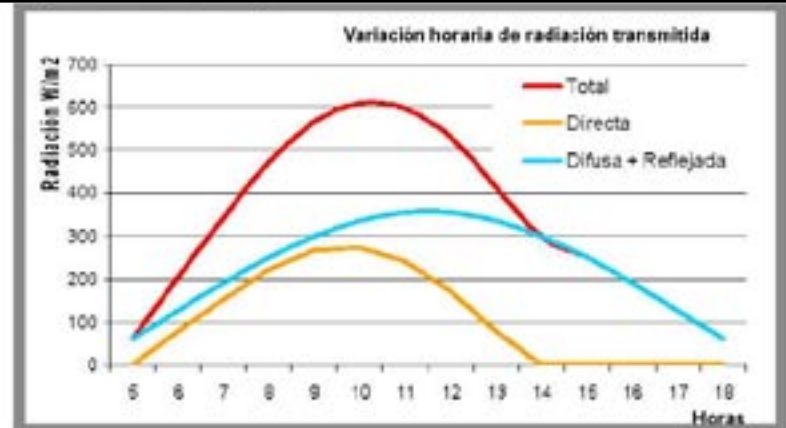


Gráfico 2. Barcelona. Distribución horaria de la radiación solar, orientación SSE, edificio A.

3. METODOLOGÍA DE EVALUACION

A partir del estudio de las condiciones climáticas del sitio, la metodología de trabajo para el estudio de las condiciones termo-lumínicas e impacto de radiación solar directa en la envolvente, combinó ensayos con modelos a escala en el Laboratorio de Estudios Bioambientales del CIHE, simulaciones dinámicas con maquetas electrónicas de la trayectoria solar horaria y estacional con relación a los distintos edificios, simulaciones computacionales con Daylight y modelos de cálculo desarrollados en planillas electrónicas.

Los aspectos evaluados se organizaron en las siguientes etapas de estudio:

Escala	Estudio	Instrumento
Estudios en el conjunto	Determinación de la proporción de envolvente expuesta o protegida de la radiación solar en edificios y atrio, y superficies con sombra permanente.	Heliodón
	Determinación de proporción de fachadas con riesgo de reflexión desde edificios vecinos.	Simulación
	Evaluación de ángulos de sol horarios y estacionales incidentes para cada una de las orientaciones de los 11 edificios.	Heliodón Simulación computacional
	Valores de radiación solar directa, difusa y reflejada, horaria y estacional.	Programa Isol V.3
Estudios en aberturas y locales	Incidencia estacional y horaria para cada orientación, del sol directo sobre los vidrios exteriores e interiores de la fachada.	Heliodón y Simulación computacional
	Incidencia de sol directo en locales y áreas de trabajo.	
	Estimación de intensidad de radiación solar sobre el exterior de las fachadas y la proporción de esta radiación transmitida al interior.	Modelos de Cálculo
	Evaluación de niveles de iluminación natural en oficinas.	Daylight Cielo Artificial
	Determinación de coeficientes adecuados de transmisión de luz visible y radiación solar de vidrios.	Modelos de Cálculo

4. AREA DE FACHADAS EN SOMBRAS.

En esta primera etapa de evaluación, fue preciso determinar en cada una de las cuatro fachadas de los 11 edificios del conjunto, zonas expuestas y las protegidas de la radiación solar directa, para cada hora, y período estacional del año, considerando básicamente invierno, verano y equinoccio.

Los ensayos se llevaron a cabo con maquetas en el Heliodón del Laboratorio de Estudios Bioambientales del CIHE.

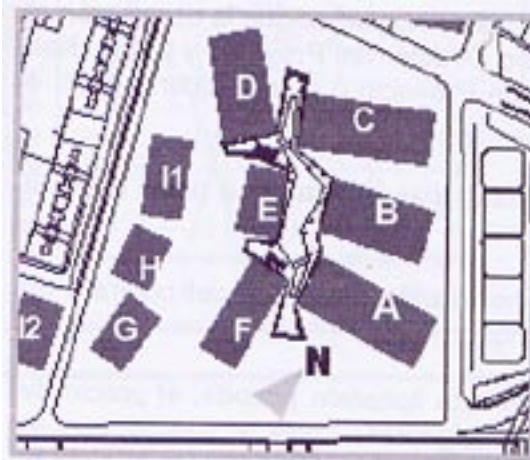


Fig. 4. Plano del conjunto y denominación de fachadas

Complementariamente, los ensayos fueron verificados con simulaciones de mayor precisión en maquetas electrónicas para visualizar el comportamiento horario y estacional de la incidencia solar directa, y las áreas en sombra en cada una de las fachadas.

Los resultados de la observación conformaron una base de datos con el porcentaje área asoleada de fachadas, y porcentaje de fachadas en sombra, según hora del día y estación del año. Los resultados de los ensayos y de las bases de datos se ejemplifican con los datos obtenidos para los edificios "A" y "C". Las Figuras 5 y 6 muestran imágenes de los ensayos en Heliodón con el registro de las horas en sombra de cada fachada. Los gráficos 2 a 8 ilustran la evolución horaria del porcentaje de área de fachada en sombra en cada estación.

Edificio	Orientaciones			
	SSE	ENE	NNO	OSO
A	SSE	ENE	NNO	OSO
B	SSE	ENE	NNO	OSO
C	SE	NE	NO	SO
D	SE	NE	NO	SO
E	SSE	ENE	NNO	OSO
F	S	E	N	O
G	S	E	N	O
H	SSE	ENE	NNO	OSO
I1	SSE	ENE	NNO	OSO
I2	SSE	ENE	NNO	OSO
J	SSE	ENE	NNO	OSO

Tabla 1. Orientaciones de fachadas consideradas los edificios en el estudio en cada edificio.

Así, puede observarse que debido a la densidad del conjunto, en invierno las sombras arrojadas sobre ciertas fachadas resultaron considerables, aún cuando la gran mayoría de las fachadas reciben sol en algunas horas del día, al menos en una estación del año.

Los gráficos 2 y 3 resumen la cantidad de horas de sombra de cada fachada del edificio identificadas por orientación. El Edificio A, uno de los más expuestos del conjunto presenta 4 hs de sombra al SSE y 5 hs al OSO. En tanto las otras dos fachadas presentan entre 7 y 10 hs de protección solar. El Edificio C presenta mayor protección por recibir el impacto de la sombra de edificios vecinos, siendo que tres de sus fachadas se hallan sombreadas entre 9 y 10.25 hs.

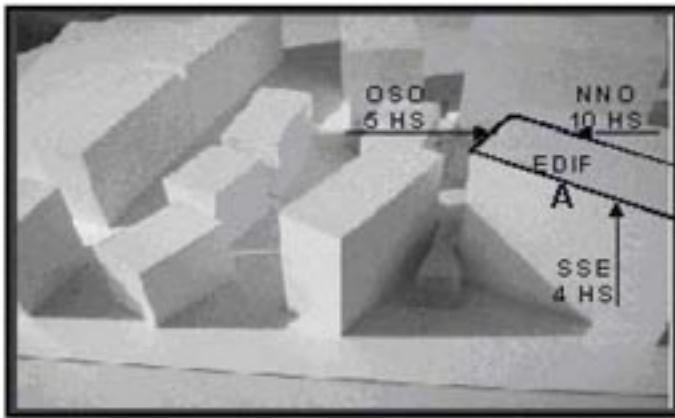


Figura 5. Equinoccio, 14 hs. Vista de la maqueta del conjunto.

EDIFICIO A

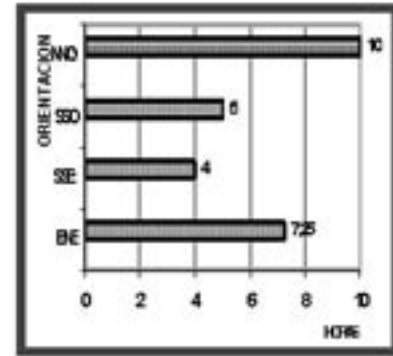


Gráfico 2. Hs en sombra de fachadas en edificio "A"

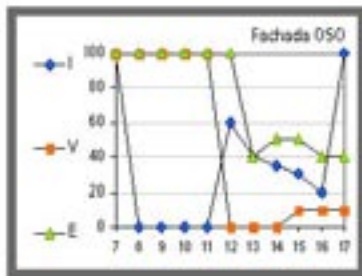


Gráfico 3. Edificio A -SSO

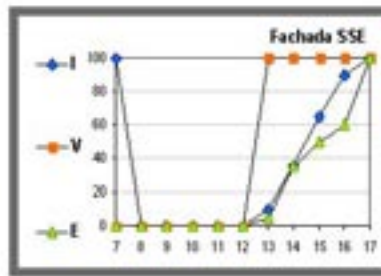


Gráfico 4. Edificio A -SSE

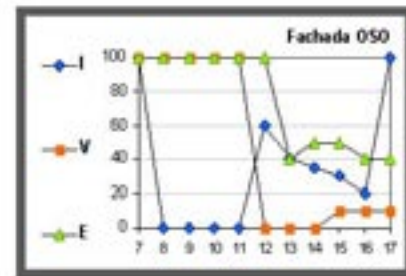


Gráfico 5. Edificio A -OSO

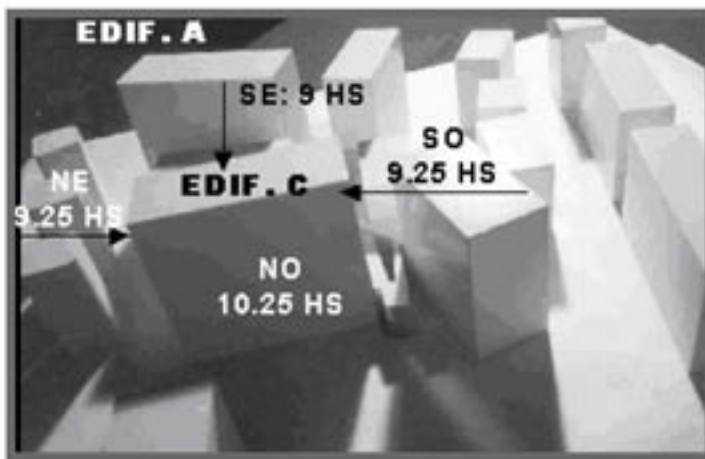


Fig.6. Conjunto en invierno a las 12 hs, y horas promedio en sombra de las distintas fachadas en el Edificio "C".

EDIFICIO C

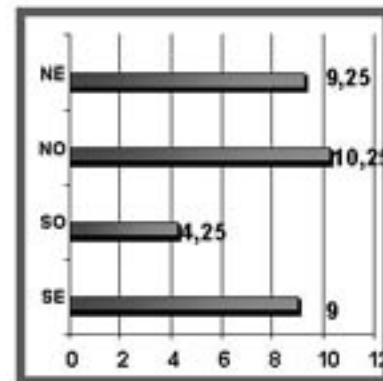


Gráfico 9. Hs en sombra de fachadas en edificio "A"

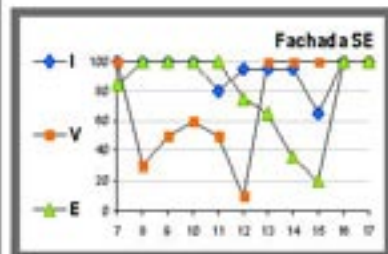


Gráfico 6. Edificio C', SE

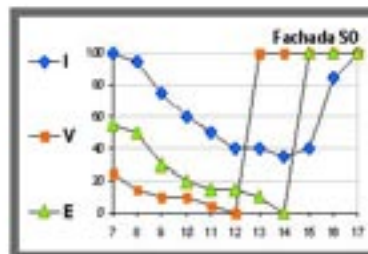


Gráfico 7. Edificio "C", SO

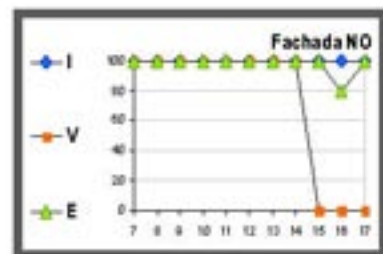


Gráfico 8. Edificio "C", NO

5. IMPACTO SOLAR EN FACHADAS.

5.1. Radiación directa.

La variación de radiación estacional y horaria incidente y el porcentaje de superficie afectada en las fachadas de los distintos edificios estudiados, se sintetizó en planillas electrónicas. Los siguientes gráficos muestran la incidencia en el edificio "A", uno de los más expuestos del conjunto.

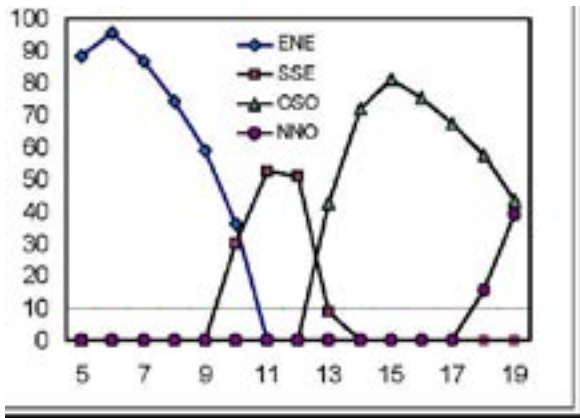


Gráfico 5. Edificio A: Porcentaje de sol sobre el vidrio en verano, según orientación.

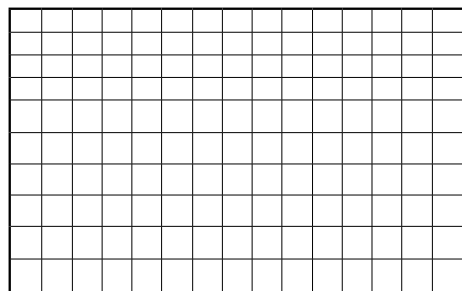
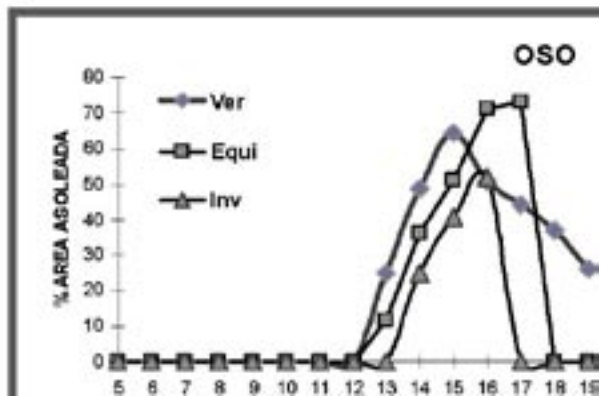
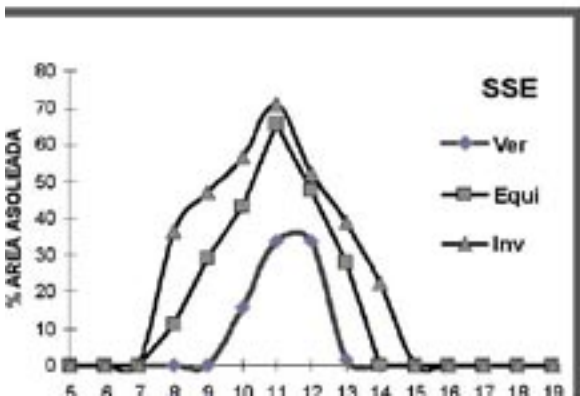


Gráfico 5. Edificio A: Porcentaje de sol sobre el vidrio en verano, según orientación.

Gráfico 6. Orientación SSE.

Gráfico 7. Orientación OSO.

El Gráfico 5 sintetiza el impacto solar directo en verano para las distintas orientaciones del Edificio A. Ratificando lo evaluado en el punto 4, muestra que las orientaciones con mayores asoleamiento son SSE y OSO. La orientación ENE tiene su pico en verano en horas de la mañana cuando las temperaturas medias entre 20 y 24 °C, aún no alcanzan el pico diurno. Esta orientación presenta protección solar favorable, con mayor superficie de vidrio en sombra en verano e ingreso de sol en invierno.

La síntesis del comportamiento estacional anual, se presenta en los Gráficos 6 y 7 para las orientaciones SSE y OSO. La primera presenta una situación favorable en verano mostrando una disminución de la superficie de asoleamiento y mayor impacto en invierno y equinoccios. Los horarios de mayor asoleamiento coinciden con las horas de mayor temperatura. La fachada OSO del edificio recibe sol directo en desde el mediodía en adelante.

5.2. Radiación reflejada.

El estudio de áreas de fachada en sombra permanente o parcial y luego la determinación de porcentaje de asoleamiento, permitió detectar la existencia de amplias áreas afectadas por reflejos de directa incidencia en el interior de oficinas.

Los estudios analíticos, las simulaciones numéricas y los ensayos verificaron que el sol reflejado ingresa en todas las fachadas en algún momento del día, en una o más estaciones del año, aún en sectores de fachadas donde el sol no impacta directamente debido a la yuxtaposición y cercanía de los edificios entre sí.

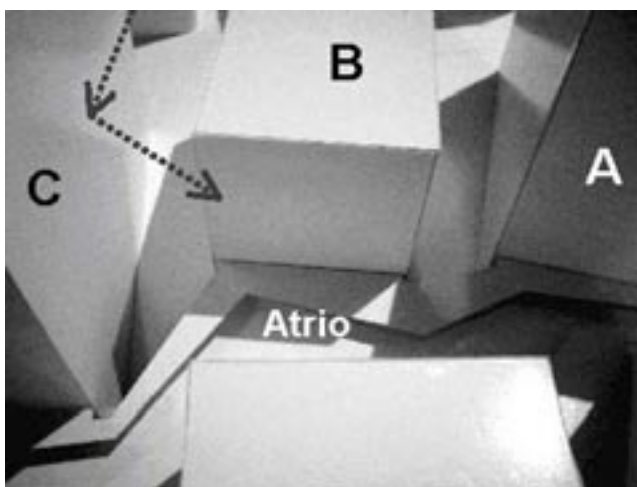


Fig. 7 Reflejos entre fachadas de edificios

Así, al analizar los reflejos que se producen sobre algunas fachadas, se detectó que los sectores aparentemente en 'sombra permanente' reciben sol reflejado, con ángulos de incidencia y alturas angulares que implican molestias visuales en áreas de trabajo.

Así la fachada NNO del Edificio "A" con escasa incidencia solar en el sector inferior, cerca del atrio, recibe en verano reflejos provenientes del Edificio "B", los que afectan a los pisos más bajos, cercanos al atrio, con ángulos de incidencia muy desfavorables tanto en el sentido vertical como horizontal. Durante los equinoccios, los reflejos afectan a los pisos intermedios hasta el piso 9. En invierno, los reflejos afectan a los pisos intermedios y altos, incluyendo reflejos desde la fachada del Edificio "C" por sobre el techo de Edificio "B".

La fachada NNO del Edificio "B" también presenta limitaciones al impacto de sol directo. Sin embargo, en verano, esta fachada recibe sol reflejado proveniente del Edificio "C", entre las 7:00 y las 11:00 horas en gran parte de su superficie. Este mismo sector de la fachada recibirá sol directo por la tarde entre las 15:00 y 16:00 horas, aunque con limitado ingreso en el interior de los locales. En los equinoccios, los reflejos provenientes del Edificio "C" afectan a toda la superficie de la fachada, la que recibe reducido sol directo alrededor de las 16:00 horas.

Los ensayos del impacto de sol y de reflexión entre superficies de fachadas, fueron simulados en el Heliodón de múltiples soles, complementados con simulaciones numéricas de impacto solar sobre cada una de las 44 fachadas.

A partir de esta primera evaluación de asoleamiento del conjunto, se determinaron los porcentajes de radiación solar directa sobre las aberturas vidriadas, considerando variaciones horarias y estacionales.

6. TRANSMISIÓN GEOMÉTRICA DE RADIACIÓN SOLAR EN EL INTERIOR DEL EDIFICIO.

La proporción de sombras sobre vidrios de ventanas, considerando la acción conjunta de orientación de fachada y la geometría de las aberturas, se determinó en forma numérica y se verificó a través de ensayos en el Heliodón. Los estudios analíticos permitieron determinar la incidencia del sol directo en interiores, el porcentual de sol sobre los vidrios interiores de la fachada, y consecuentemente el factor de sombra según el diseño de la fachada.

A través de los ensayos, se observó que el diseño de ventanas, aún cuando aporta adecuada protección en horas de máxima temperatura y radiación, no impide la incidencia de los ángulos bajos de sol, cuya mitigación sólo es posible disminuyendo la transmisión en vidrios y con la incorporación de elementos móviles de sombreado.

La serie en las Figuras 8^a, b, c y d muestran los resultados de los ensayos realizados en el Heliódón, según el Angulo de incidencia solar respecto a la fachada:



Fig. 8a. Sol de baja altura Fig.8b. Sol de baja altura.
Fig.8c. Sol a 35° de altura Fig.8d. Sol a 40° de altura

La proporción de transmisión de radiación solar directa, difusa y reflejada hacia el interior del edificio se halla afectada por la proporción de vacíos y llenos de la fachada, diseño y geometría de las aberturas, y las características de absorción del vidrio (BUTTON, d., y PYE, B.) La superficie vidriada de fachada equivale al 66%.

RADIACIÓN SOLAR DIRECTA PERPENDICULAR

Transmisión geométrica de la fachada.

Transmisión geométrica del vidrio.

En cada módulo de ventana la proporción
Corresponde a la relación entre el ancho exterior
geométrica de transmisión es: de abertura y el ancho
interior:

$$600 / 1200 = 50 \% \quad 600 / 700 = 85 \%$$

donde:

1200 = el ancho total del módulo.

600 = el ancho mínimo (interior) de ventana.

donde:

700= el ancho exterior de ventana (sin marco).

600= el ancho mínimo (interior) de ventana.

RADIACIÓN SOLAR DIRECTA OBLICUA

Transmisión geométrica con ángulo de incidencia oblicua. El cálculo contempló el impacto de las sombras en sentido vertical debidas al espesor del marco y pared, ancho del marco y orientación de fachada.

$A / B =$ Transmisión geométrica del vidrio $A / C =$ Transmisión geométrica de la fachada

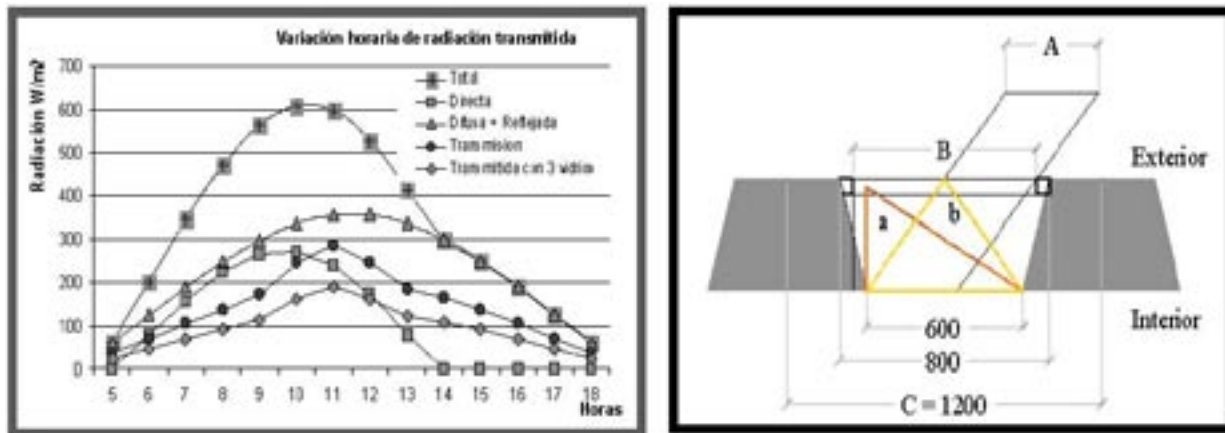


Gráfico 8. Disminución de la incidencia de radiación

Fig. 9. Incidencia solar en la abertura total en la orientación SSE. Edif. "A".

En cuanto a la transmisión solar difusa y reflejada aplicada a la superficie de la fachada resultó del 27%, mientras que la aplicada a la superficie del vidrio es del 55%. Teniendo en cuenta la presencia de tres vidrios incoloros y tratamiento de baja emisividad (Low-e), la transmisión máxima posible resultó del 66%. Para este caso la transmisión de radiación solar es 44%, con un Factor solar del 56%.

7. EVALUACIÓN DE NIVELES DE ILUMINACIÓN NATURAL:

CALIDAD Y CANTIDAD DE LUZ NATURAL EN OFICINAS.

A fin de determinar las características físicas de los vidrios a utilizar en la envolvente exterior, como la transmisión de luz visible e impacto de la reflectividad de fachadas, se evaluó la distribución de los niveles de iluminación natural en el interior de los locales típicos destinados a oficinas, con énfasis en posibles disminuciones de luz natural debido a la yuxtaposición de edificios y la geometría de las aberturas en fachadas.

La estimación del porcentaje de Factor de Luz Diurna se realizó con simulaciones numéricas por ordenador y mediciones en modelos tridimensionales a escala en el cielo artificial del CIHE, que permite simular la distribución y luminosidad de un cielo nublado, situación crítica para evaluar la iluminación en días con cielo cubierto en invierno, con distribución de luz, según normas internacionales (EVANS . J. M. et al).

7.1. Simulación numérica

La evaluación de iluminación natural contempló dos situaciones claves:

- **Iluminación natural con cielo nublado y luz difusa**, condición crítica para el nivel de confort lumínico, ya que los valores inferiores indican la necesidad de utilizar iluminación artificial.
- **Disconfort ocasionado por exceso lumínico en el campo visual.** Su origen, debido a reflejos desde otras superficies reflejantes, como fachadas vidriadas de edificios vecinos, elementos internos reflectores, o debidos al impacto de sol directo sobre la superficie de trabajo, provoca molestias y disconfort visual en áreas en áreas de trabajo (FONTOYNONT, M.).


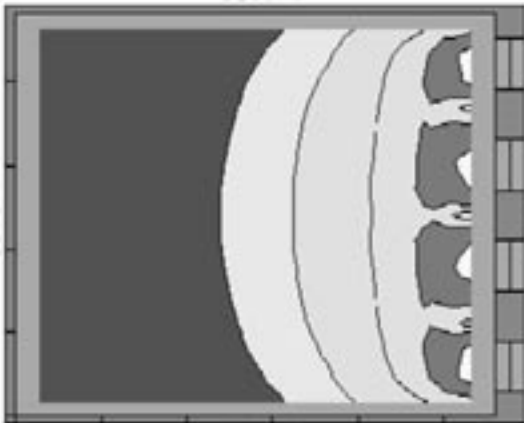
Los elementos de protección solar, tales como persianas o cortinas, pueden contrarrestar el desconfort y equilibrar la intensidad lumínica. En este caso será necesario utilizar iluminación artificial a fin de aumentar los niveles de luz interior y reducir el contraste excesivo.

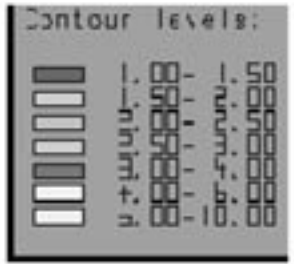
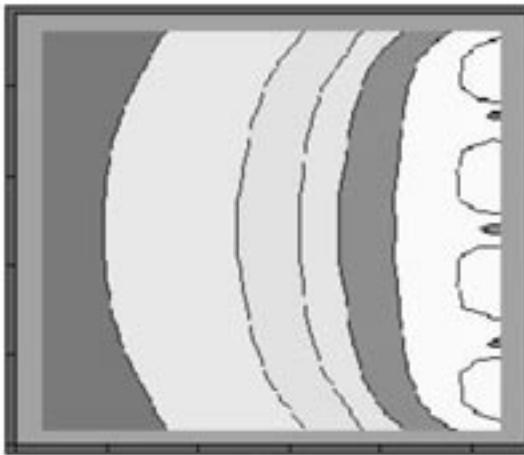
En este análisis las oficinas individuales fueron consideradas como los espacios más críticos, por sus dimensiones limitadas y ante la posibilidad de lograr una proporción importante de la superficie con buen nivel y distribución de luz natural, (EVANS, J. M et al.) Los parámetros espaciales considerados se sintetizan en el Cuadro 1.

Dimensiones local mts	Ancho (interior)	4.80		Pared 1 (exterior)	0.34	Espesores mts
	Profundidad (int.)	5.6		Paredes 2 - 3 - 4 (interiores)	0.1	
	Altura (int. piso- techo)	2.84		Elemento 5 (techo)	1.0	
Aberturas	Pared exterior N°	2				
	Altura antepecho (mts)	0.00				
	Ancho (mts)	0.60				
	Altura (mts)	2.84				

Cuadro 1. Parámetros considerados para los ensayos numéricos del FLD.

La simulación del Factor de Luz Diurna FLD para los tres casos de Transmisión de Luz Visible se aplicó a una oficina individual con 1 pared exterior, sin obstrucciones exteriores significativas o aleros, colores interiores claros y buena calidad de mantenimiento y limpieza, en vidrios y superficies interiores. El análisis simuló tres situaciones: 1. con muy limitada transmisión de luz visible, 40 %; 2. con baja transmisión de luz visible, 50 %; y 3. con transmisión de luz visible convencional de 66 % (tres vidrios). Los ensayos realizados se presentan en el Cuadro 2 y corresponden a coeficientes de transmisión del 50% y 66%.

Reflectividad	Paredes	50% default	0.50		Transmisión de luz visible: 50 % 										
	Piso	20% default	0.35												
	Techo	70% default	0.80												
	Altura plano de trabajo	0.85 m	0.85												
	Cociente mínimo de reflectividad interior					Medio									
			<table border="1"> <tr><td>Min.</td><td>1.00</td></tr> <tr><td>Max.</td><td>7.00</td></tr> <tr><td>Average</td><td>2.17</td></tr> <tr><td>Min/max ratio</td><td>0.14</td></tr> <tr><td>Uniformity ratio (min/av.)</td><td>0.46</td></tr> </table>	Min.	1.00	Max.	7.00	Average	2.17	Min/max ratio	0.14	Uniformity ratio (min/av.)	0.46		
Min.	1.00														
Max.	7.00														
Average	2.17														
Min/max ratio	0.14														
Uniformity ratio (min/av.)	0.46														
Resultados	Iluminación natural	Min.	Máx.	Prom.	Min/Max										
	Valores FLD	1.0	7.0	2.17	0.14										
	Calificación	Bajo	Adecuado	Bajo	Adecuado										

Reflectividad	Paredes	50% default	0.50		Transmisión de luz visible: 66 % 										
	Piso	20% default	0.35												
	Techo	70% default	0.80												
	Altura plano de trabajo	0.85 m	0.85												
	Cociente mínimo de reflectividad interior					Medio									
			<table border="1"> <tr><td>Min.</td><td>1.32</td></tr> <tr><td>Max.</td><td>7.24</td></tr> <tr><td>Average</td><td>2.86</td></tr> <tr><td>Min/max ratio</td><td>0.14</td></tr> <tr><td>Uniformity ratio (min/av.)</td><td>0.46</td></tr> </table>	Min.	1.32	Max.	7.24	Average	2.86	Min/max ratio	0.14	Uniformity ratio (min/av.)	0.46		
Min.	1.32														
Max.	7.24														
Average	2.86														
Min/max ratio	0.14														
Uniformity ratio (min/av.)	0.46														
Resultados	Iluminación natural	Mínima	Máxima	Promedio	Min/Max										
	Valores FLD	1.32	7.86	2.86	0.14										
	Calificación	Bajo	Adecuado	Bajo	Adecuado										

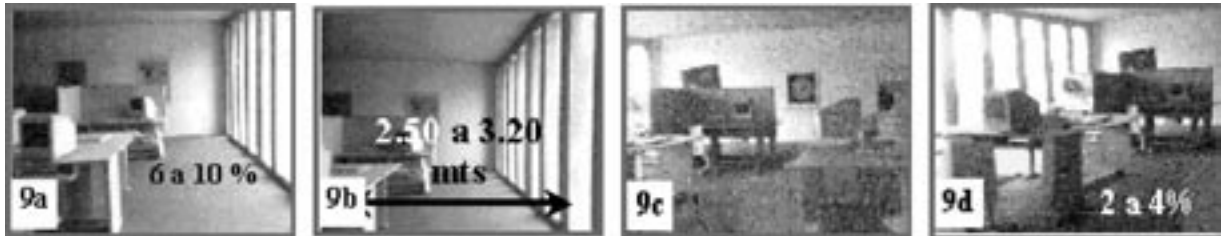
Cuadro 2. Resultados de simulaciones de Factor de Luz Diurna en local para oficina.

En el primer caso, el sector de la oficina con buenos niveles de iluminación natural se extiende aproximadamente hasta 2,50 m desde la fachada hacia el interior, siendo adecuada la distribución de luz natural en sentido paralelo a la fachada y presentando un porcentaje mínimo de 1%.

En el segundo caso ensayado, el sector de la oficina con buena iluminación natural se extiende aproximadamente a 3,20 m desde la fachada hacia el interior, logrando un nivel mínimo de 1,32 %, 33% mayor que el caso anterior. Normalmente, para una oficina, se recomienda un nivel de iluminación natural, indicado por el FLD, Factor de Luz Diurna de 2 %.

Así, los sectores con un FLD menor a 1,5% pueden resultar inadecuadamente iluminados en días nublados. La distribución de luz natural es buena en el sentido paralelo a la fachada, si bien el nivel de iluminación en el sector interior de la habitación es limitado, alcanzando la mayor parte del local un nivel de 1,5 %. Los niveles se verificaron en los ensayos realizados en el Cielo Artificial, cuyas imágenes muestran las figuras. 9a, b, c y d.

Ensayos en Cielo Artificial



Figuras 9a, 9b, 9c, 9d. Distintas vistas del ensayo y verificación de porcentajes de FLD

8. CONCLUSIONES

Los estudios demostraron que la geometría de la fachada garantiza una protección significativa, alcanzando valores máximos de alrededor de 40 %. Las fachadas con orientación NO y NE presentan menor incidencia de radiación solar, con menor carga diaria de valores pico. Así en fachadas orientadas al NE, NNE, N, NNO y NO, se recomienda considerar una transmisión máxima de 70 % para la hoja exterior del vidrio doble. En algunos casos, la combinación de mínima incidencia de la radiación solar directa y reducido impacto de la radiación difusa permitirá aceptar valores mayores sin recibir ganancias solares significativas.

La fachadas mas expuestas al sol con orientación E, SE, S, SO y O presentan valores máximos cercanos al 50 % . En estos casos la utilización de vidrio exterior tonalizado con tratamiento disminuye la transmisión de radiación solar y mejora el comportamiento térmico debido a la reducción de pérdidas hacia el exterior. Esta alternativa, permite que el doble vidrio interior pueda ser incoloro. En todos las alternativas, se recomendaron seleccionar vidrios con alta transmisión de luz visible para garantizar adecuados niveles de iluminación natural (BUTTON, D., y PYE, B.).

Los cálculos y simulaciones mostraron que el diseño de las ventanas ofrece un factor de sombra geométrica favorecido por sus limitadas superficies vidriadas, y permite disminuir significativamente la carga de refrigeración. No obstante para determinadas orientaciones es necesario considerar la combinación de estrategias de diseño de protección solar con las características termo - lumínicas de los vidrios a utilizar.

La utilización de dispositivos de protección móviles, como cortinas regulables en la cámara de aire, resulta un recurso inevitable en la mayor parte de los casos, aún en aquellas orientaciones que no reciben ganancia solar directa. Esto se debe a los reflejos sobre el vidrio producido en las fachadas enfrentadas que reciben sol directo.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BAKER, N. et al. **Daylighting in Architecture. An European reference book.** James & James. London, 1993.
- BUTTON, d., y PYE, B.. **Glass in Buildings.** Butterworth Architecture. London 1993.
- EVANS . J. M. et al **Uso de Modelo a escala en el Cielo Artificial.** AVERMA. Vol. 3, N° 2, 8.169-8.172., 1999.
- EVANS . J. M et al. **Iluminación en Maquetas y espacios con Iluminación Natural.** AVERMA. Vol.2,1998, N°2, 5.37-5.40, 1998.
- FONTOYNONT, M. **Daylight Performance of Buildings.** James & James for European Commission Directorate. London, 1999.
- PEARCE, E. y SMITH, C.. **The world weather guide.** Editorial Hutchinso, Londres. 1990.