

PROTECCIÓN SOLAR EN LA ENVOLVENTE EDILICIA: PROCESOS Y HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN

Carlos Raspall Galli¹, Juan Valeros², John Martin Evans³

Centro de Investigación Hábitat y Energía, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo,
Universidad de Buenos Aires.

Pabellón 3, Piso 4, Ciudad Universitaria, C1428BFA Buenos Aires, Argentina.

Tel / Fax: (011) 4789-6274 / e-mail: carlosraspall@fibertel.com.ar

RESUMEN: En zonas climáticas templadas, tropicales y subtropicales, las ganancias por ingreso de radiación solar en edificios tienen una incidencia muy importante en el sobrecalentamiento de los espacios interiores. Para un correcto diseño de elementos de protección solar es necesario contar con herramientas que permitan cuantificar los niveles de protección, evaluando su desempeño en distintas estaciones del año y diferentes momentos del día. A lo largo de numerosos estudios de protección solar desarrollados en el CIHE, se ha llegado a una sistematización de los procesos de cálculo. En este trabajo se presenta el desarrollo de secuencias de evaluación, las herramientas desarrolladas y la utilización de varios software con el fin de evaluar la eficiencia de la protección solar en la envolvente edilicia, especialmente en edificios de alta complejidad. Habiéndose puesto a prueba la metodología empleada en diferentes casos prácticos, se muestran ejemplos de su aplicación en situaciones específicas.

Palabras clave: protección solar, iluminación natural, modelización, simulación.

INTRODUCCION

Ante la necesidad de contar con soportes de evaluación y cálculo de protección solar, el CIHE ha desarrollado una serie de herramientas digitales para varios estudios de eficiencia energética. Este trabajo presenta el desarrollo y aplicación de procesos de evaluación de elementos de protección orientados a las etapas de desarrollo y ajuste del proyecto arquitectónico. Si bien el cálculo de protección solar es sencillo para casos particulares, es una tarea compleja cuando se evalúa un edificio de grandes dimensiones o de características formales y funcionales complejas. Para estos casos se han desarrollado métodos de evaluación precisos y sistematizados.

El Heliódón, un simulador del movimiento solar desarrollado y en funcionamiento en el CIHE, utilizado favorablemente en el diseño de protección solar en instancias iniciales de diseño, no permite el cálculo preciso de los niveles de radiación necesaria en etapas más avanzadas de proyecto. De esta manera, el uso de estas herramientas digitales de análisis, en combinación con el uso de modelos a escala en el heliódón, facilitan el diseño en sus diferentes instancias de desarrollo del diseño arquitectónico.

HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN

El estudio de la protección solar de la envolvente edilicia involucra una secuencia de análisis que incluye numerosas variables así como la aplicación de diferentes software.

Las **variables** analizadas son:

- Nivel de radiación disponible sobre la fachada
- Posición relativa del sol frente a una superficie determinada
- Aspectos geométricos de elementos de protección solar
- Aspectos geométricos de elementos de las aberturas
- Geometría de las aberturas

- Estas variables son consideradas en relación a diferentes días del año y horarios del día.

- Adicionalmente, los edificios normalmente presentan soluciones de protección diferenciadas para cada fachada o dentro de una misma fachada.

Software utilizado: MS Excel, Autodesk Autocad y 3dStudio y Adobe Photoshop.

¹ Investigador CIHE-FADU-UBA

² Investigador estudiante CIHE-FADU-UBA

³ Profesor Titular FADU-UBA y Co-Director CIHE-FADU-UBA

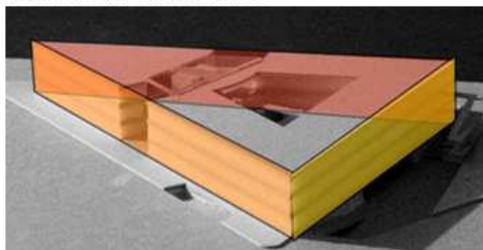
DESCRIPCION DE PROCESOS Y HERRAMIENTAS

La evaluación de los elementos de protección incluye la siguiente secuencia de pasos:

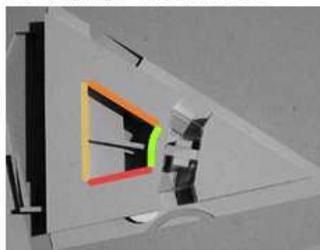
1. Estudio de la geometría del edificio y de los elementos de protección.

Como primer paso se realiza un análisis geométrico del edificio, discriminando unidades de análisis en función de la orientación y el tipo de solución de protección solar (Figura 1).

fachadas exteriores



fachadas interiores



cubiertas

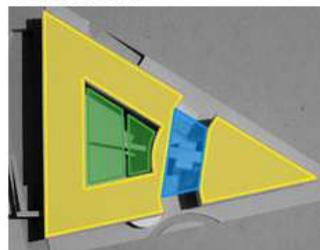


Figura 1: Análisis de la envolvente del proyecto para el Hospital de Allende, Córdoba.

2. Cálculo de niveles de radiación disponible y posición solar relativa por cada orientación, día del año y horario.

La información necesaria incluye niveles de radiación directa, difusa y reflejada en W/m².h. Como herramienta de cálculo se utiliza la planilla electrónica e-sol.xls, desarrollada en el CIHE con los algoritmos presentados por Muneer (1997).

Los valores de ingreso son día del año, latitud, inclinación de la superficie, albedo y kt. Como resultado se obtienen los niveles de radiación y la posición del sol relativa a la correspondiente superficie. La Tabla 1 muestra los valores de radiación total para las diferentes orientaciones en un caso de estudio. En color rojo se indican los horarios y las orientaciones críticas.

RADIACION TOTAL 21-Sep LAT -31.52
radiación directa + difusa + reflejada

Orientacion		1	2	3	4	5	6	7	8
Azimut		N 357°	NE 42°	E 87°	SE 132°	S 177°	SO 222°	O 267°	NO 312°
Radiacion	5	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	6	21.08	177.78	240.94	173.57	18.105	18.105	18.105	18.105
	7	116.3	443.18	552.82	380.99	72.32	72.32	72.32	72.32
	8	271.91	600.83	661.39	418.11	142.71	142.71	142.71	142.71
	9	431.33	710.55	694.38	392.29	206.29	206.29	206.29	206.29
	10	571.92	751.88	641.98	320.86	257.05	257.05	257.05	271.31
	11	671.74	716.17	510.86	289.84	289.84	289.84	289.84	403.6
	12	714.41	608.69	364.34	301.17	301.17	301.17	342.68	578.06
	13	692.76	447.54	289.84	289.84	289.84	289.84	469.73	701.94
	14	610.43	296.06	257.05	257.05	257.05	293.61	606.96	754.27
	15	481.12	206.29	206.29	206.29	206.29	338.56	668.18	727.15
	16	325.42	142.71	142.71	142.71	142.71	368.72	645.04	627.11
	17	166.28	72.32	72.32	72.32	72.32	340.54	545.59	473.42
	18	44.355	18.105	18.105	18.105	18.105	156.03	239.41	193.15
	19	0	0	0	0	0	0	0	0

referencias	nivel 1	nivel 2	nivel 3	nivel 4
	200	400	400	600
	200	400	600	

Tabla 1: Resultado de los niveles de radiación total sobre las diferentes orientaciones según horario. Este ejemplo fue realizado para una asesoría técnica para el edificio de la CONAE en Córdoba.

3. Evaluación del ingreso de radiación directa

El estudio de ingreso de radiación solar directa se centra en el cálculo de exposición solar de las aberturas considerando el porcentaje de superficie vidriada expuesta a la radiación para cada momento del día. A tal fin se analiza la geometría de los elementos de protección y la posición del sol relativa a la superficie de análisis. El cálculo se realiza de dos maneras, en relación a la complejidad del sistema de protección:

- En aberturas rectangulares y elementos de protección ortogonales, con elementos horizontales o verticales, se utiliza una planilla de cálculo electrónica. Esta incorpora datos geométricos de los parasoles y la trayectoria solar y devuelve el porcentaje de vidrio expuesto a la radiación solar para cada hora y época del año.

orientación	1 N	2 NE	3 E	4 SE	5 S	6 SO	7 O	8 NO
	357	42	87	132	177	222	267	312
ancho	100	100	100	100	100	100	100	100
espesor	10	10	10	10	10	10	10	10
separacion	100	100	50	100	200	100	50	100
transmit vidrio	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%

% DIFUSA	47%	47%	24%	47%	69%	47%	24%	47%
----------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

% RAD DIRECTA								
5	---	90%	80%	90%	95%	---	---	---
6	---	33%	34%	67%	68%	---	---	---
7	---	0%	0%	39%	17%	---	---	---
8	---	0%	0%	0%	0%	---	---	---
9	---	0%	0%	0%	0%	---	---	---
10	0%	0%	0%	0%	---	---	---	---
11	0%	0%	0%	0%	---	---	---	---
12	0%	0%	0%	---	---	---	---	0%
13	0%	---	---	---	---	0%	0%	0%
14	0%	---	---	---	---	0%	0%	0%
15	0%	---	---	---	---	0%	0%	0%
16	---	---	---	---	0%	0%	0%	0%
17	---	---	---	---	0%	36%	0%	11%
18	---	---	---	---	59%	66%	35%	44%
19	---	---	---	---	95%	90%	80%	90%

Tabla 2: Resultado de los niveles de radiación que incide sobre la superficie vidriada para las diferentes orientaciones según horario. Este ejemplo fue realizado para una asesoría técnica para el edificio del CONAE en Córdoba. Los elementos de protección corresponden a un sistema de lamas horizontales tipo persiana.

- En casos de aberturas irregulares, parasoles no ortogonales, parasoles tridimensionales, u otros casos que no pueden ser resueltos por cálculos trigonométricos simples, se desarrolló una mecánica de evaluación que incluye las siguientes etapas:
 - Realización de un modelo tridimensional de la fachada en Autodesk 3dStudio, en el cual se inserta un sistema de luces correspondientes al sol en diferentes épocas del año (normalmente una para los solsticios y una para el equinoccio). Animación de la proyección de sombras sobre la superficie vidriada para cada hora del día (Figura 2, izquierda).
 - Análisis de las imágenes resultantes de la animación, utilizando herramientas de Adobe Photoshop para el cálculo de porcentaje de píxeles negros (correspondiente a vidrio en sombra) y píxeles iluminados (correspondientes a vidrio expuesto a la radiación). Como resultado de este análisis se determina el porcentaje de vidrio expuesto al sol (Figura 2).

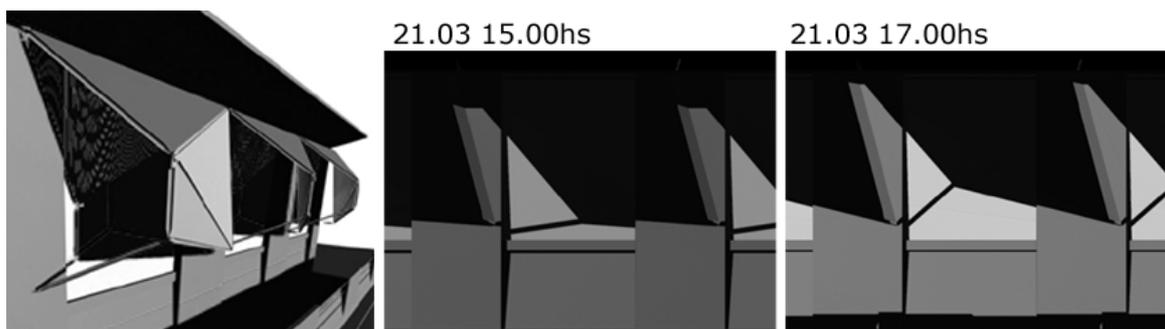


Figura 2: Análisis de la envolvente del proyecto para ampliación edificio Buquebus, Buenos Aires. La figura de la izquierda corresponde al modelo 3d en Autodesk 3dstudio. Centro y la derecha: cuadros de la animación en los cuales se observa las zonas expuestas y protegidas.

4. Evaluación del ingreso de radiación difusa y reflejada.

El cálculo de radiación difusa que ingresa al espacio también se calcula de manera diferente de acuerdo a la complejidad geométrica de los elementos de protección. En casos simples, se determina el nivel medio de exposición a la radiación difusa utilizando una planilla electrónica. En los casos más complejos se utiliza el modelo tridimensional electrónico, realizando un rendering de una bóveda celeste virtual en la cual esta distribuida el nivel de radiación difusa que emite la bóveda. La vista tipo 'ojo de pez' desde la ventana hacia el cielo, detrás de los elementos de protección solar, permite contar que secciones del cielo son visibles y por lo tanto calcular el porcentaje de radiación que llega al interior del espacio, Figura 3.

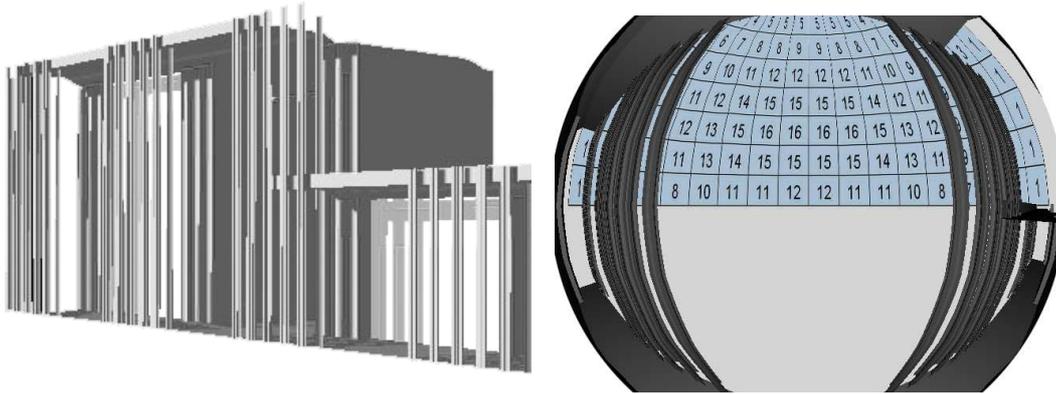


Figura 3: Estudio de ingreso de radiación difusa en el proyecto para el edificio El Alef, Buenos Aires. La figura de la izquierda es una imagen del modelo 3d. La figura de la derecha corresponde a una vista tipo ojo de pez desde la superficie del vidrio hacia el exterior en la cual la suma de los números visibles corresponden al valor por mil de la radiación difusa.

5. Cálculo de radiación total que ingresa a los ambientes.

En esta etapa se realiza el cálculo de radiación total que ingresa a los ambientes. La información utilizada incluye:

- Los valores porcentuales de exposición a la radiación solar directa en cada hora y estación (etapa 3), y los valores porcentuales de exposición a la radiación difusa y reflejada (etapa 4).
- Los valores de radiación horaria para la orientación correspondiente a cada orientación (etapa 2).
- Tipo de vidrio utilizado.
- Superficie de la abertura.

Los valores resultantes permiten evaluar si los niveles de protección son adecuados, excesivos o insuficientes para diferentes momentos del año. De acuerdo a los resultados, surgen los ajustes y modificaciones para cada caso. Se muestra un ejemplo de los resultados en la Tabla 3.

Ingreso de radiación en verano

	1 N	2 NE	3 E	4 SE	5 S	6 SO	7 O	8 NO
	357	42	87	132	177	222	267	312
5	7.9	58.9	135.3	163.4	88.3	7.9	5.6	7.9
6	32.2	78.9	142.5	272.7	145.1	32.2	22.9	32.2
7	65.6	65.6	47.2	210.1	104.4	65.6	47.2	65.6
8	99.0	99.0	72.2	99.0	125.8	99.0	72.2	99.0
9	129.4	129.4	95.4	129.4	163.5	129.4	95.4	129.4
10	153.8	153.8	114.3	153.8	193.5	153.8	114.3	153.8
11	169.7	169.7	126.7	169.7	212.8	169.7	126.7	169.7
12	175.2	175.2	131.0	175.2	219.5	175.2	131.0	175.2
13	169.7	169.7	126.7	169.7	212.8	169.7	126.7	169.7
14	153.8	153.8	114.3	153.8	193.5	153.8	114.3	153.8
15	129.4	129.4	95.4	129.4	163.5	129.4	95.4	129.4
16	99.0	99.0	72.2	99.0	125.8	99.0	72.2	99.0
17	65.6	65.6	47.2	65.6	84.0	189.7	47.2	92.0
18	32.2	32.2	22.9	32.2	109.1	257.5	153.7	112.0
19	7.9	7.9	5.6	7.9	71.8	157.2	141.5	74.9
Max	175.18	175.18	142.51	272.72	219.48	257.47	153.7	175.18
Prom	62.099	66.168	56.212	84.62	92.211	82.873	56.935	69.313

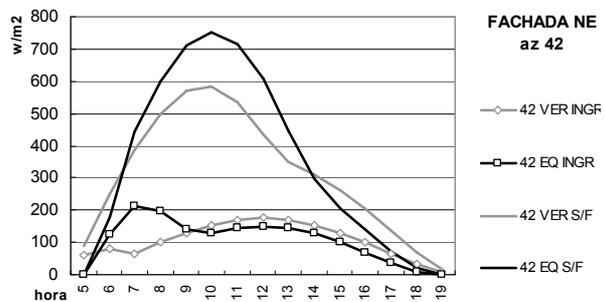


Tabla 3 (izquierda): Resultado de los niveles de radiación que ingresa al interior para cada fachada en el proyecto para el edificio del CONAE. A la derecha el gráfico muestra, para la orientación noreste, la radiación total horaria que ingresa al espacio y la radiación total horaria disponible sobre fachada, para verano y equinoccio.

6. Otros ensayos.

Considerando que los elementos de protección solar también constituyen un obstáculo para el ingreso de luz natural, adicionalmente se realiza un estudio de iluminación natural. Se utiliza el modelo tridimensional electrónico desarrollado para evaluar la protección solar incorporando las propiedades de reflectancia, transmitancia y rugosidad de las superficies. El software de simulación utilizado es Desktop Radiance .

Adicionalmente, para cerramientos opacos se realizan estudios de las características térmicas de los elementos constructivos utilizando la planilla electrónica Cal-k, desarrollada en el CIHE.

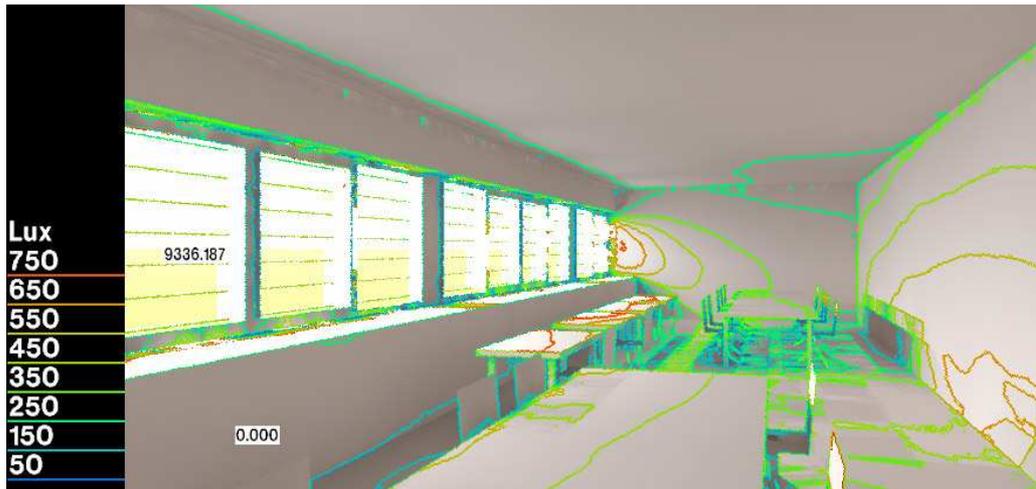


Figura 4: Estudio de iluminación natural en el edificio de la CONAE.

APLICACIÓN Y RESULTADOS

Las herramientas presentadas en este trabajo fueron desarrolladas y utilizadas en numerosas asesorías técnicas realizadas por el CIHE en el marco de convenios específicos o del Programa de Asistencia Técnica de la FADU-UBA, Resol. CD 222/94.

Los ejemplos mostrados en las tablas y figuras corresponden a los siguientes proyectos: Edificio Ciudad Aerolíneas, Ezeiza, Pcia. de Buenos Aires; Edificio Buquebus, Ciudad A. de Buenos Aires; Edificio El Alef, Ciudad A. de Buenos Aires; Edificio CONAE, Córdoba; Hospital en Allende, Córdoba; Proyecto para la Estancia El Kawel, San Antonio de Areco, Pcia. de Buenos Aires.

CONCLUSIONES

Se ha demostrado que la sistematización de la evaluación de la protección solar de la envolvente edilicia permite mejoras en la precisión y la rapidez de los estudios. Los resultados tienen aplicación directa en las etapas de desarrollo de los proyectos arquitectónicos ya que permiten calibrar rigurosamente los diferentes elementos de protección.

Considerando la importancia de una adecuada protección solar en los edificios, estos procesos de evaluación en combinación con estudios iniciales en el helidón constituyen herramientas valiosas para el diseño de edificios sustentables en las diferentes etapas del proyecto arquitectónico.

RECONOCIMIENTOS

El presente trabajo se inscribe en el marco del Proyecto de Investigación UBACyT A 020 'Certificación de edificios sustentables y el Mecanismo de Desarrollo Limpio aplicado al sector edilicio', Programación Académica 2004-2007, de la SECyT-UBA.

REFERENCIAS

- CIBSE, (1980) Manual CIBSE, Volume A, Chartered Institute of Building Services Engineers, Londres
 Clarke, J. A. (2001) Energy simulation in building design, 2nd Edition, Butterworth Heinemann, Oxford.
 Evans, J. M. y de Schiller, S., (1996) Diseño Bioambiental y Arquitectura Solar, (2da. edición), SEUBE-FADU-UBA, EUDEBA, Buenos Aires.
 Muneer, T. (1997) Solar radiation and daylight models for the energy efficient design of buildings, Architectural Press, Londres.

ABSTRACT

In temperate and tropical climate zones, the solar gains have a significant incidence in the overheating of inner spaces. In order to reach an adequate design of sun protection elements, several tools are needed to analyze and quantify the solar protection levels. After several studies concerning solar protection developed in the CIHE, a systematization of the evaluation process has been reached. This exposes evaluation sequences, tools developed in the CIHE and the application of software in order to analyze the efficiency of the protection of the building envelope, specially in complex buildings. Different examples of solar protection applications are presented.

Keywords: solar protection, modeling, simulation.