

Hacia una metodología de análisis energético integral de la envolvente arquitectónica y urbana



Arturo Maristany¹, Leandra Abadía², Alicia Rivoira³

Resumen

Una de las funciones más importantes de la envolvente arquitectónica es la de controlar los factores físicos que son parte del medio ambiente: calor, luz y sonido, a los fines de garantizar las condiciones de confort térmico, visual y acústico generando un mínimo de consumo de energía.

Garantizar condiciones de confort y eficiencia energética exige mayor atención a las cuantificaciones energéticas. Esto implica realizar un estudio integral de las variables y su nivel de adecuación a los agentes ambientales.

El comportamiento de la envolvente arquitectónica tiene una relación directa con el medio urbano. Es así como para la ciudad la envolvente arquitectónica constituye la envolvente urbana y contribuye a aumentar o mitigar el efecto de isla de calor.

El objetivo del presente trabajo es una metodología de análisis que posibilite evaluar el comportamiento, las propiedades, el rendimiento y la respuesta de las envolventes frente a los problemas ambientales, valorando no sólo la cantidad sino la calidad, de modo de optimizar el uso de la energía y el logro del bienestar del hombre.

¹ Arturo Maristany, arquitecto. Dr. en Ingeniería Acústica en la Universidad Politécnica de Madrid. Profesor Titular Instalaciones IIB. Director Centro de Investigaciones Acústicas CIAL - FAUD - UNC.

² Leandra Abadía, arquitecta. Dra. en Ingeniería Acústica en la Universidad Politécnica de Madrid. Profesor Adjunto y Vicedirectora Centro de Investigaciones Acústicas CIAL - FAUD - UNC. Profesor Asistente Instalaciones I A.

³ Alicia Rivoira, arquitecta. Especialista en Tecnología Arquitectónica en la Universidad Nacional de Córdoba. Profesor Titular Introducción a la Tecnología A. Profesor Adjunto Centro de Investigaciones Acústicas CIAL - FAUD - UNC.

Palabras clave: ENVOLVENTE, ENERGÍA, AISLAMIENTO, CONFORT

One of the most important role of building envelope is to control physical enviromental parameters: heat, light and sound, in order to realise thermal, visual and accoustical comfort of the users, with an efficient use of natural and artificial energy sources.

To ensure comfort and energy conservation is necessary to consider energy quantification. Therefore is essential to carry out an integral study of the parameters with influence on the envelope design.

The behaviour of the building envelope can significantly increase or mitigate the negative effects of the heat island phenomenon.

The aim was to develop a methodology which serves the purpose of evaluate the behavior, performance and building envelope properties, in order to design an envelope with optimun performance in ensuring termal, visual and acoustic comfort conditions and energy conservation in the indoor and outdoor enviroment.

Keywords: BUILDING ENVELOPE, ENERGY, INSULATION, COMFORT

Introducción

El concepto de confort en la arquitectura está íntimamente relacionado con la capacidad de control de la envolvente urbana a los agentes ambientales. Tradicionalmente la envolvente se resuelve como un sistema de aislamiento ambiental destinado a mantener condiciones preestablecidas de confort. Pocas veces se analiza como un sistema de intercambio interior-exterior, donde los materiales y sistemas constructivos utilizados están destinados a optimizar la transferencia de energía para garantizar el bienestar. Asimismo, esos materiales y sistemas constructivos interactúan con el exterior, afectando las condiciones de confort de los espacios exteriores, relacionándose así con lo que reconocemos como preexistencias ambientales. Los agentes energéticos principales que caracterizan un ambiente determinado inciden sobre la envolvente edilicia e influyen sobre el confort son el calor, que afecta el control de la temperatura del aire; la luz, que incide en la vista e intimidad visual óptima y el sonido, que influye en el confort acústico.

Los problemas ambientales de las grandes áreas metropolitanas aquejan a miles de personas deteriorando las condiciones de salud y la habitabilidad de los edificios. En las últimas décadas las ciudades han sufrido de manera intensiva serios problemas entre ellos el de la isla de calor (IC), la contaminación por ruido y

la falta de acceso al sol y/o visión de cielo. Las modificaciones inducidas por la ciudad sobre los agentes ambientales modifican necesariamente las condiciones de confort. Para un correcto diseño de las envolventes es indispensable tener en cuenta las características climáticas de un lugar además de parámetros geográficos como la latitud y altitud, personales como actividad, edad, sexo entre otros y del espacio interior: tiempo de ocupación, variación de la temperatura. Los parámetros ambientales exteriores proporcionan datos para la toma de decisiones en relación a los criterios de diseño a los efectos de generar un correcto intercambio energético entre el exterior y el interior. La consideración de los aspectos mencionados en el diseño arquitectónico, optimizando las relaciones energéticas con el ambiente exterior, permite lograr un mayor ahorro energético, menor impacto ambiental adverso y confort para el usuario.

La calidad ambiental interior para lograr el confort adecuado supone entre otros aspectos calidad acústica, en donde será indispensable considerar aspectos constructivos y funcionales para un correcto aislamiento acústico, confort térmico donde la elección de materiales y sistemas constructivos posibiliten reducir intercambios térmicos con el exterior, controlando de este modo las pérdidas de calor en invierno, optimizando ganancias y posibilitando refrescamiento en verano y calidad en iluminación natural, aspecto que se relaciona con las orientaciones, protecciones y tamaño de aberturas. En este sentido tanto el aislamiento acústico, térmico y la iluminación natural son aspectos que se definen entre otros, por las características de las envolventes.

Para Varini (2009) “La envolvente ya no es entonces un parámetro que responde, con su masa, al requisito primario de contener y proteger un espacio interior, sino un sistema complejo, objeto de exploración y desarrollo que se ha enriquecido y afinado a punto de concentrar funciones pasivas y activas capaces de ser determinantes para el confort, el impacto ambiental y el consumo energético de una construcción”. Entre los elementos constructivos característicos de un edificio la envolvente es la que permite la vinculación o aislación de los espacios interiores con el exterior. Su tratamiento, características de diseño y materialidad transformaran a esta piel o fachada en un elemento negativo o positivo desde el punto de vista del acondicionamiento y el confort interior. La resolución de las actuales envolventes, adolecen muchas veces de la evaluación y del estudio previo necesario en función del destino para el cual están construidas. Las envolventes modifican los gradientes paramétricos de los campos ambientales que delimitan definiendo condiciones interiores o exteriores de confort de acuerdo al nivel de adecuación a los agentes ambientales.

Las solicitaciones energético – ambientales

Los principales agentes activos energéticos que inciden sobre la envolvente del edificio son el calor, la luz y el sonido, pudiéndose mencionar también como agentes secundarios la energía radiante, el viento y la humedad, sintetizados en la figura 1. Estas solicitaciones energéticas, que afectan el confort térmico, acústico y lumínico, pueden ser descritas físicamente a partir de parámetros característicos, variables físicas, como la temperatura

(°C), la irradiancia (W/m^2), la iluminancia (lux), el nivel sonoro (dBA), la humedad (%), entre otros. Los agentes influyen en el comportamiento energético de la envolvente de manera conjunta y, aunque en general se analizan por separado, es necesario tener una visión integral del impacto combinado que producen sobre el confort.

Las envolventes poseen propiedades físicas relacionadas con estos agentes activos (luz, sonido y calor), que se pueden identificar como agentes pasivos, como son la resistencia y la inercia térmica, la capacidad de reflexión y absorción de la luz y del calor, la transparencia, el peso, el aislamiento, entre muchos otros.

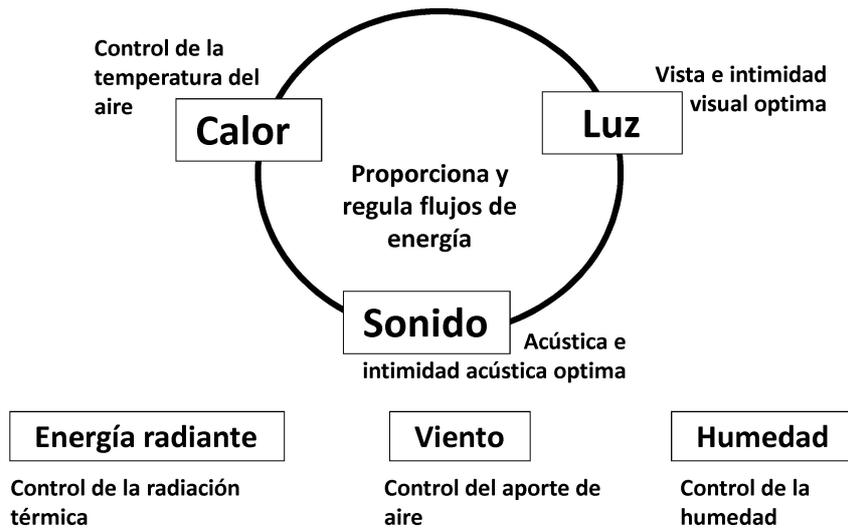


Figura 1
Agentes energéticos que inciden sobre la envolvente.
Fuente: elaboración propia.

Las decisiones de diseño de los sistemas que conforman el entorno construido involucran la intervención directa sobre los agentes pasivos, dando lugar a modos de acción orientados al aprovechamiento o control del agente activo, un correcto diseño de la envolvente deberá considerar estos factores para lograr una envolvente óptima en su relación con el clima y el entorno.

Los modos de acción se relacionan con la orientación, el tipo de material o pavimento, el porcentaje de llenos y vacíos, las relaciones entre superficie opaca y vidriada, dando integralmente distintos niveles de respuesta.

El problema higrotérmico, el calor

La combinación de parámetros como la temperatura, la humedad, la radiación solar y el movimiento del aire es la que define el bienestar térmico, condición en la que existe satisfacción respecto del ambiente térmico (UNE-EN-ISO 7730, 2006).

La cantidad de calor que se transfiere por la envolvente de un edificio es el factor principal que define la carga térmica de calefacción, por pérdidas en invierno, y de refrigeración, por ganancias en verano. Las normas nacionales IRAM e internacionales ISO definen claramente los valores de referencia del aislamiento térmico de elementos o sistemas constructivos, valores establecidos en función de los requerimientos mínimos de confort higrotérmico y eficiencia energética. Estos referenciales dan por lo general valores máximos de transferencia global de calor (K), dependiendo principalmente del aislamiento térmico en función de las condiciones ambientales exteriores. Los elementos translucidos de la envolvente juegan un rol fundamental, tanto en las pérdidas como, principalmente, en las ganancias de calor por transmisión directa de la radiación en verano. La transmisividad es el parámetro principal que caracteriza térmicamente las superficies vidriadas, que junto con el factor de exposición solar (Fes) definen la carga térmica por radiación solar directa a través de estas superficies. La incidencia de la radiación solar en los espacios interiores, depende de la acción conjunta de la orientación de la fachada, tamaño de la superficie transparente, tipo de vidrio y geometría de las protecciones.

En muchos casos el aislamiento térmico de los elementos opacos no es indicador suficiente de la adecuación térmica del componente al diseño de la envolvente. Otros parámetros como la capacidad térmica, que representa el potencial del componente para acumular calor; el color, que se relaciona con la capacidad del elemento de absorber o reflejar la radiación solar y la emisividad, que permite calcular el índice SRI destinado a aplicar el concepto de *cool material* (materiales fríos), como parámetro de importancia para la selección de los materiales que componen la envolvente urbana (figura 2).

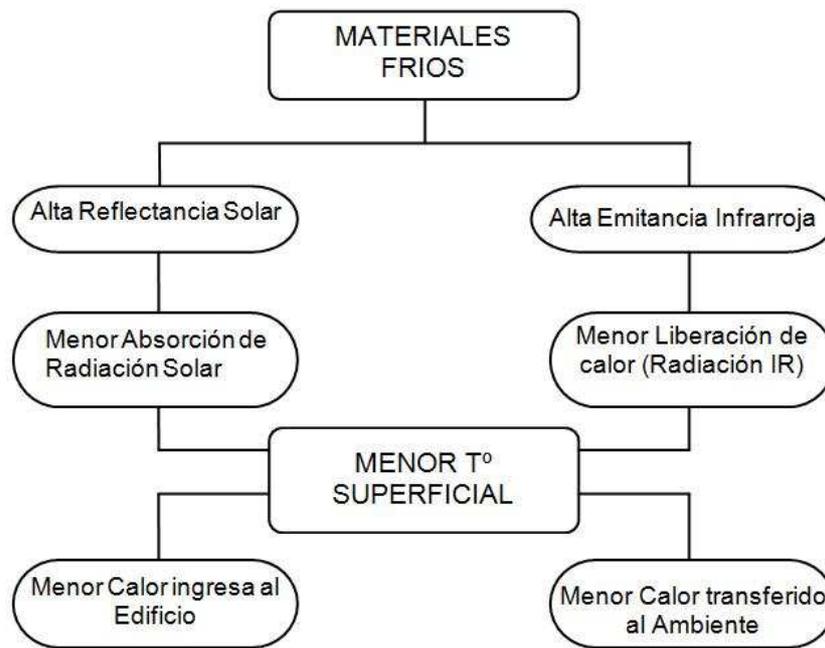


Figura 2
Principios básicos de materiales fríos
(Santamouris et al, 2011)

La envolvente superior de los edificios ocupa entre el 20 y 25% del total de las superficies urbanas, si sus terminaciones se realizan con materiales fríos, pueden ser utilizadas para reducir la temperatura del aire en las ciudades. (Akbari et al, 2003), dado que reflejan la mayor parte de la radiación solar incidente durante el día, manteniendo sus superficies más frías y la alta emitancia permite reirradiar el poco calor acumulado principalmente durante la noche. El uso de materiales fríos no sólo impacta en el comportamiento térmico de envolventes edilicias, reviste aún más importancia en el análisis de los pavimentos exteriores los que se convierten en grandes absorbentes y acumuladores de calor. Gran parte de los revestimientos peatonales utilizados en nuestras ciudades revelan escasa capacidad para mitigar los efectos de la isla de calor (Alchapar et al, 2012), (Alchapar et al, 2014). Es posible mejorar el desempeño térmico de la envolvente con una selección apropiada del material en función de su SRI y adecuado a los condicionantes formales o estéticos (Alchapar et al, 2011) (Santamouris et al, 2011).

El problema acústico, el sonido

Desde la acústica las características de la envolvente urbana (cubiertas y fachadas) influyen en el confort desde dos puntos de vista posible: el aislamiento, relacionado con el confort interior frente a altos niveles de ruido exterior, y la absorción superficial, relacionado con el confort de los espacios exteriores ya que contribuye a la disminución o aumento del campo sonoro reverberante en los espacios exteriores.

Las envolventes de edificios son decisivas en la contribución del aislamiento acústico, R' (dB), entre el exterior y el interior y por lo tanto en el confort y calidad acústica de los espacios interiores. El aislamiento integral de las envolventes depende del proceso de propagación del ruido a través de cada uno de los elementos que las componen.

El principal agente activo en el caso del estudio acústico de fachadas es el ruido ambiente exterior, compuesto principalmente por las condiciones de ruido de tráfico, considerada como la fuente productora de ruido más importante en las grandes ciudades. Para su estudio las técnicas de medición y simulación de su propagación en espacios urbanos son fundamentales. En la figura 3 se muestran los niveles de ruido alcanzados en horario pico en una avenida del área central de la ciudad de Córdoba mediante una simulación de propagación de ruido en un canal urbano tipo, con una importante circulación de tránsito.

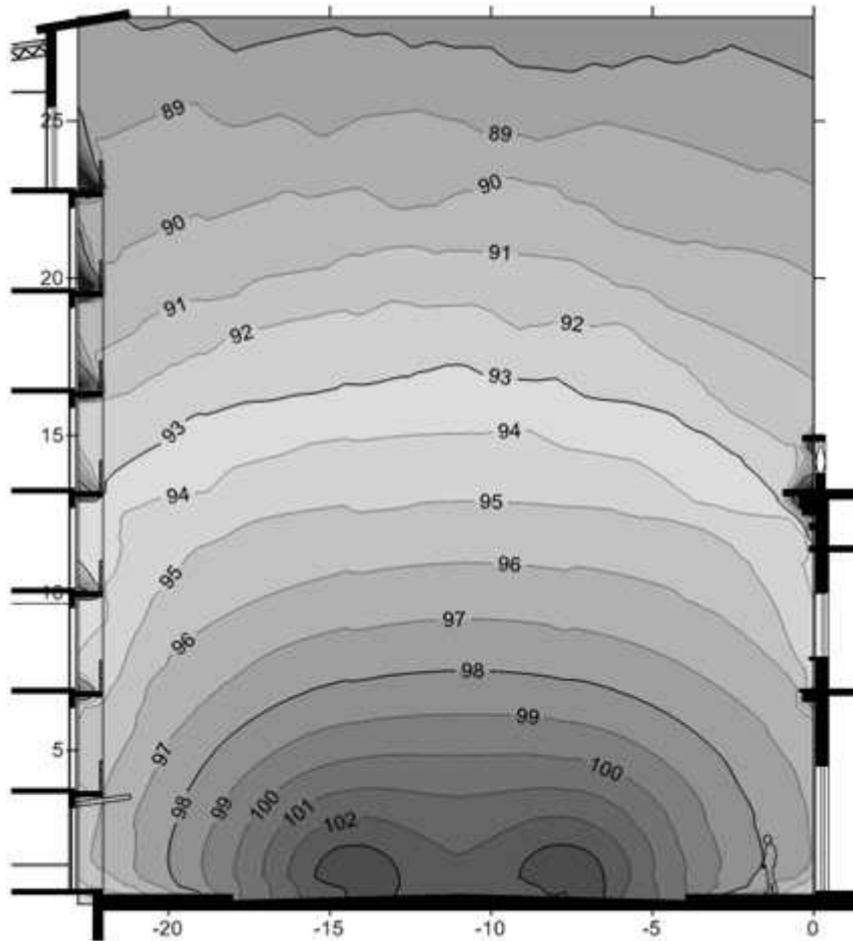


Figura 3

Perfil de propagación de ruido (Maristany et al, 2014)

Cuando se hace referencia al aislamiento acústico proporcionado por un elemento constructivo, éste depende fundamentalmente de la masa superficial de los materiales que lo componen, aunque en las técnicas actuales de construcción los sistemas constructivos multicapas implican un criterio de evaluación del aislamiento diferente basado en una combinación de la masa de los elementos constructivos con la amortiguación de la onda sonora ejercida por materiales porosos o cámaras de aire intermedias. Paralelamente también hay que considerar que la existencia de vanos

vidriados se constituye en la mayoría de los casos en un punto débil del aislamiento acústico. Un estudio integral de la envolvente debe considerar no solo el aislamiento acústico (R') de los elementos constructivos que la componen, también debe ser tenido en cuenta la capacidad de apantallamiento o control que la misma forma de la fachada posee en relación al sonido incidente. Este aspecto es tenido en cuenta en la norma EN 12354-3 (2001) donde se considera la diferencia de nivel debida a la forma de la fachada (ΔL_{fs}) dentro del cálculo de la diferencia de nivel normalizada ($D_{2m,nT}$), considerando la corrección debida al área total de la fachada desde el interior m^2 (S) y al tiempo de reverberación (T_o) de referencia (0,5 s). En la figura 4 se muestran las variables de atenuación de ruido para fachadas.

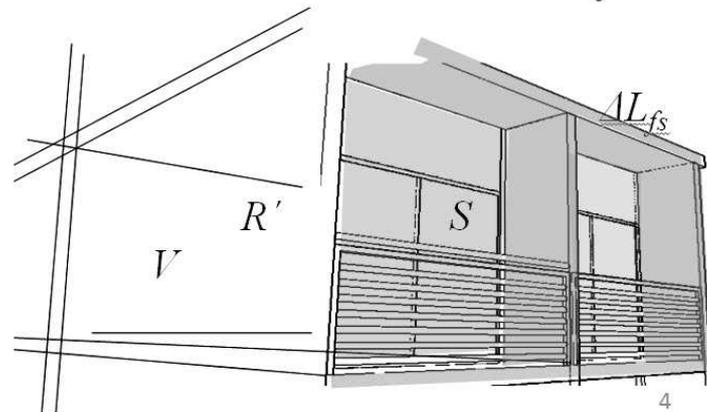
$$D_{2m,nT} = R' + \Delta L_{fs} + 10 \log \frac{V}{6T_o S}$$


Figura 4
Variables consideradas en la atenuación de ruido en fachadas

El problema lumínico, la luz

La iluminación natural es un recurso para reducir los requerimientos de iluminación artificial en los edificios con el consiguiente potencial de ahorro energético, sin embargo es uno de los recursos naturales menos explotados desde el punto de vista de la conservación de la energía. Existe una falta de aprovechamiento de la luz natural en los edificios y se recurre a sistemas artificiales de iluminación que no se complementan con la natural y son calculados como fuente principal de iluminación. Es importante recordar que la iluminación natural proviene de una fuente de energía renovable, posee la característica de ser dinámica, pero la visión humana está adaptada a estas variaciones, y su cantidad permite altos niveles de iluminancia mayores que la iluminación artificial.

La mayoría de los métodos de cálculo y verificación de la iluminación natural se basan en la determinación del coeficiente de luz diurna (CLD). El CLD es la relación entre la iluminancia (E_i) producida por la luz natural en un punto (P_i) en el interior de un local,

y la iluminancia horizontal exterior (E_{he}) con horizonte libre:

$$CLD (\%) = E_i / E_{he}$$

La iluminancia horizontal exterior (E_{he}) varía según la luminancia de la bóveda celeste, la latitud del lugar, la hora del día, las condiciones meteorológicas, etc. En el caso de iluminancias de superficies verticales también influye la orientación de las mismas, es decir el azimut con respecto al norte. La CLD puede ser calculada por métodos analíticos o bien simulada por métodos analógicos, maquetas en cielo artificial, o por software: Dialux®, Relux®, Ecotect® o Radiance®. En nuestro país estudios realizados en iluminación natural por diversos equipos de investigación (Ledesma, 2004), (Patini, 2005), (Ledesma, 2005), (Casabianca, 2009), destacan la importancia del estudio de la iluminación natural en nuestro medio y especialmente la aplicación de las técnicas de simulación en maqueta como herramienta de análisis. La aplicación de una u otra metodología depende de la disponibilidad del recurso de simulación.

Estudio de variables energéticas. El análisis higrotérmico

Una envolvente lateral que en su diseño no contempla la variable del confort higrotérmico, no reconoce la estacionalidad y la situación crítica del clima del lugar, atenta contra el bienestar higrotérmico de los usuarios, desaprovechando el posible acondicionamiento natural y aumenta el consumo energético del edificio. Ello se evidencia en envolventes realizadas exclusivamente en bloque cementicio común o ladrillo cerámico hueco, sin la incorporación de aislantes, o en la realización de envolventes de ladrillo de campo de 0.125 m y encadenados sismorresistentes a la vista tal como se muestra en la figura 5. En ningún caso es posible alcanzar los estándares fijados por las normas específicas manteniendo resoluciones constructivas de este tipo. La incorporación de dos centímetros de algún aislante térmico en cualquiera de los casos mencionados produce un incremento de aproximadamente 50 al 60% en la resistencia térmica, incidiendo directamente en la carga térmica del edificio, en la demanda de energía y por lo tanto en la eficiencia energética del edificio casi en los mismos porcentajes.

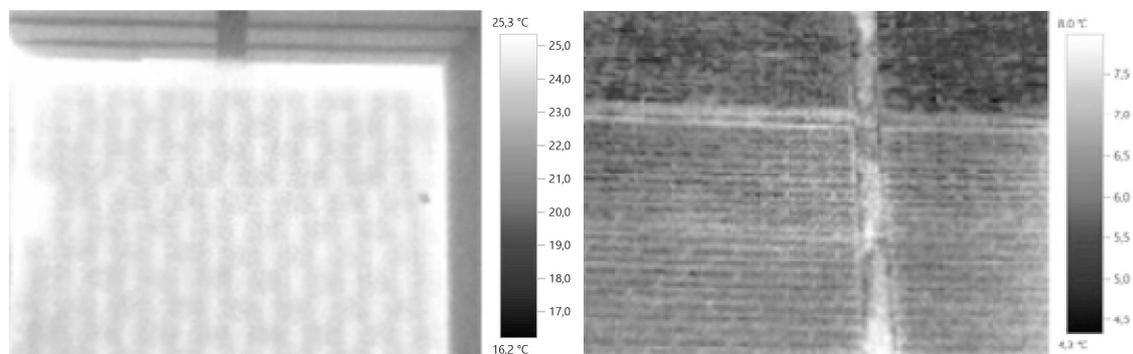


Figura 5
Imagen térmica interior de mampostería en bloque cementicio
y exterior de ladrillo de campo a la vista

Entre las alternativas constructivas destinadas a optimizar el comportamiento higrotérmico de la envolvente externa del edificio, la fachada ventilada (FV) es una solución apropiada principalmente en climas templados, pues contribuye no sólo a disminuir las pérdidas de calor en invierno sino principalmente a controlar las ganancias en verano. La fachada ventilada es usada tanto en construcciones nuevas como en intervenciones de rehabilitación de edificios existentes tendientes al ahorro de energía. En la figura 6 se muestra un esquema compositivo de la fachada ventilada.

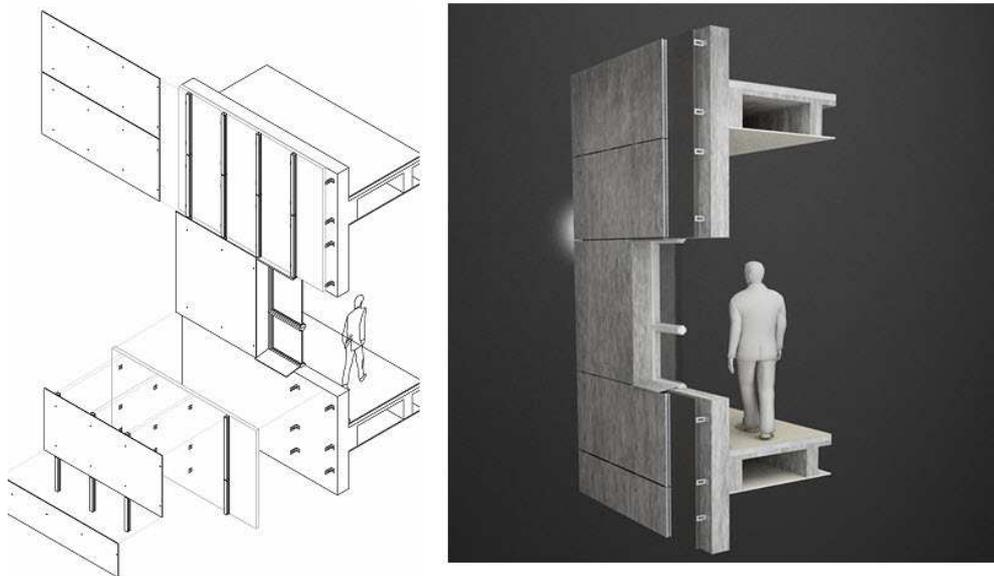


Figura 6
Esquema constructivo de fachada ventilada

En las gráficas de la figura 7 se muestran los porcentajes de energía ahorrada (S) al utilizar FV sobre cuatro alternativas de muros, sin y con aislante térmico en la capa interna. Se indican tres alternativas del material para la FV en las dos estaciones (Maristany et al, 2016a)

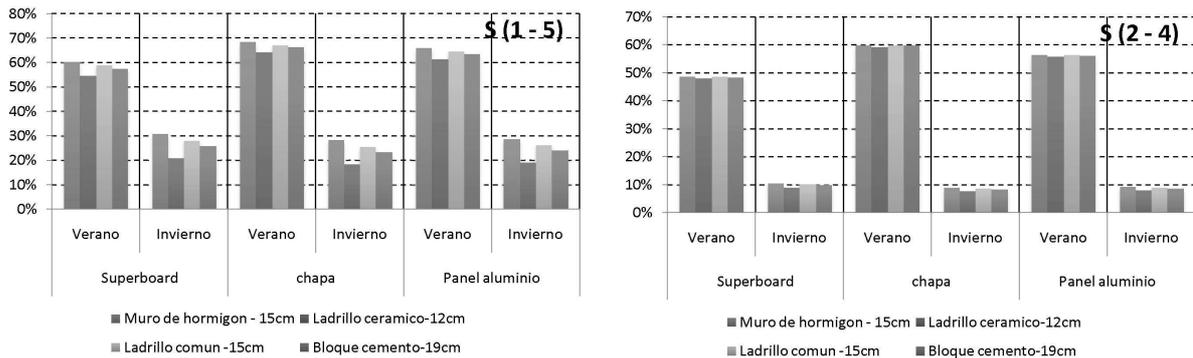


Figura 7
Tasas de ahorro de energía
(Maristany et al, 2016)

Se observa claramente que el rendimiento en verano es muy superior al de invierno. En invierno la eficiencia está relacionada con la incorporación del material aislante mientras que en verano el rendimiento alcanza valores del 50 al 60% en el caso de FV con aislante térmico incorporado y del orden del 40 al 50% para la FV sin aislamiento. Los rendimientos mayores, por encima del 60% en verano se logran con la capa externa de chapa, debido a que el mayor calentamiento por radiación eleva la pérdida por convección en la cámara de aire.

La envolvente arquitectónica se compone de elementos opacos, translucidos y/o transparentes. En su diseño, deben contemplarse integralmente, ya que constituyen un todo y el funcionamiento energético del edificio depende de la eficiencia del conjunto. Los “huecos acristalados” desde el punto de vista energético son los elementos más vulnerables que constituyen la piel del edificio. Una mejora en la calidad técnica de los aventanamientos y la selección adecuada del tipo de vidrio, contribuye a una mejora del funcionamiento integral de la envolvente. La transmitancia térmica del doble vidriado hermético, disminuye aproximadamente un 50 % en relación a un cristal monolítico. El porcentaje de energía solar total transmitida también disminuye, pero no en los mismos porcentajes.

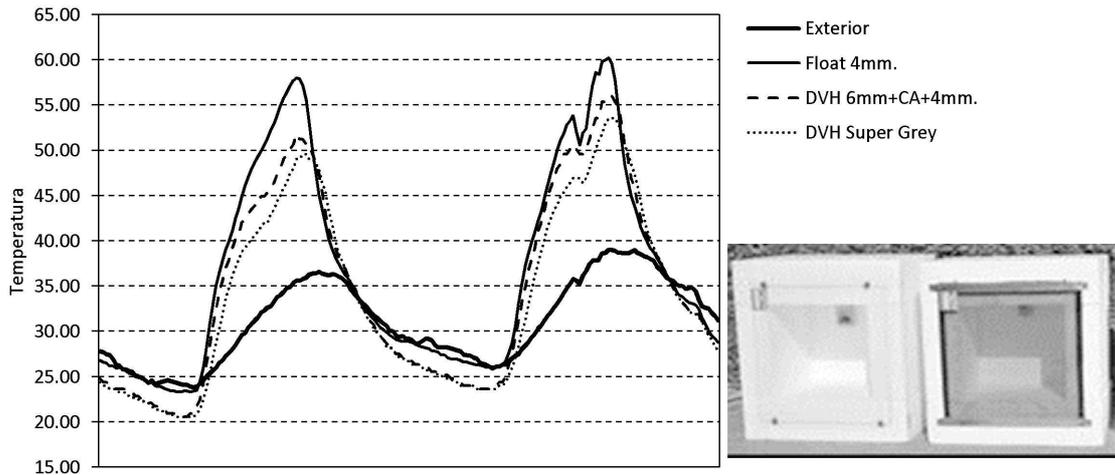


Figura 8
Variación de temperatura int/ext para tres tipos de vidrio. Módulo de ensayo

A partir de un estudio comparado (Rivoira, 2011) del impacto de diferentes tipos de vidrio en el confort térmico, se deduce que el uso de un doble vidriado hermético en fachada norte contribuye a reducir la temperatura interior en aproximadamente un 5 %, en verano. En la figura se muestran las variaciones de temperatura en el módulo de ensayo aislado. El porcentaje de energía solar transmitida disminuye a medida que el vidrio incorpora pigmentos que lo oscurecen, pero también disminuye el porcentaje de luz visible que se transmite a través de él, aumentando las necesidades de iluminación artificial. Un valor elevado de transmisión de luz visible disminuye la necesidad de iluminación artificial, pero la disminución de las temperaturas interiores no es significativa. En la figura 8 se observa la variación de la temperatura interior/ exterior para vidrio float de 4 mm, DVH de 6 mm + cámara de aire + float de 4 mm y DVH Super Grey + cámara de aire + float de 4mm.

Otros recursos para evitar el sobrecalentamiento de los espacios interiores y exteriores en época estival son el color y la terminación. Una terminación en colores claros, refleja un gran porcentaje de radiación solar, evitando un aumento de la temperatura de las envolventes, con su consiguiente transferencia de calor hacia el interior de los espacios habitables. El índice SRI, que asocia la reflectividad con la emisividad de los materiales, es el indicador más adecuado para estudiar la influencia de estos parámetros en el comportamiento térmico de envolventes. En tal sentido, estudios realizados en áreas urbanas exteriores, demuestran la importancia de estudiar el tipo de material que conforma las envolventes exteriores, principalmente horizontal: pavimentos y cubiertas de techos, pues son las que mayor radiación solar reciben durante todo el día.

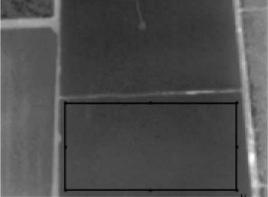
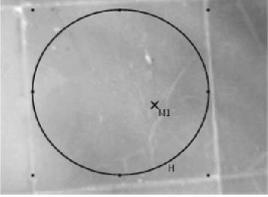
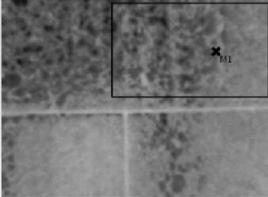
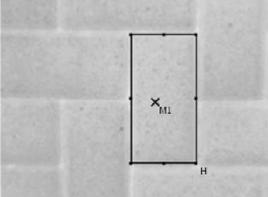
		$T_{\text{Sup media}}$	Reflectividad	Emisividad aproximada
Mármol Blanco				
		26,3 °C	26,1%	0,90
Termografía	Imagen real			
Baldosa Cementicia Negra				
		35,3 °C	10,2%	0,76
Termografía	Imagen real			
Granito Natural Rosado				
		29,6 °C	16,5%	0,55
Termografía	Imagen real			
Hormigón articulado				
		31,5 °C	13,9%	0,95
Termografía	Imagen real			

Figura 9
Termografía y valores relevados. Fuente: elaboración propia

En el cuadro de la figura 9 se muestran resultados de un estudio realizado en el área central de la ciudad de Córdoba (Maristany et al, 2016b), donde se demuestra la influencia del tipo de material en el confort térmico de los espacios exteriores. Se observa que todos los materiales analizados registran temperaturas significativamente más elevadas que la temperatura del aire. Las temperaturas promedio superficiales superaron a la temperatura del aire entre 11,6 °C (el mármol blanco) y 18,8 °C (la baldosa cementicia negra).

La baldosa cementicia negra, registra el comportamiento térmico más desfavorable, alcanzando la máxima temperatura y mínima reflectividad. Las piedras naturales como el mármol y el granito presentan mejor comportamiento que las artificiales. Al igual que en el caso de los pavimentos, las terminaciones de las cubiertas, podrían reducir la ganancia de calor, reflejando la radiación solar utilizando colores claros en sus terminaciones.

Simpson y Mc Pherson (1997) utilizando modelos de edificios a escala en Arizona, encontraron que la temperatura superficial de cubiertas marrones, supera en 10°C a las grises y en 30°C a las que presentan terminaciones blancas. El color es una variable de impacto en la temperatura superficial.

El análisis acústico

En general los componentes opacos utilizados para el cerramiento de fachadas y envolventes exteriores, alcanzan niveles suficientes o aceptables de aislamiento, dentro de los límites establecidos por normas. Normativamente las envolventes que dan al exterior deberán cumplimentar con un aislamiento mínimo (R') de 35 dB. Para los sistemas constructivos más usados en Córdoba el aislamiento varía entre 45 y 55 dB. El principal problema para el cumplimiento de los niveles mínimos de aislamiento lo representan las grandes superficies vidriadas. El aislamiento global de la fachada depende fundamentalmente del comportamiento del vidrio que se utilice así como del tipo de carpintería y del sellamiento de la misma.

En la figura 10 se indica la reducción del aislamiento acústico de la envolvente en un caso de estudio y la influencia de las características del aislamiento discontinuo de fachadas (Maristany et al, 2016c). El comportamiento se evalúa según las relaciones de superficies puestas en juego en función del porcentaje de vidriado, del tipo de vidriado, el aislamiento global de la superficie opaca en relación al tipo constructivo, la forma de la envolvente y el tipo de materiales superficiales que las conforman.

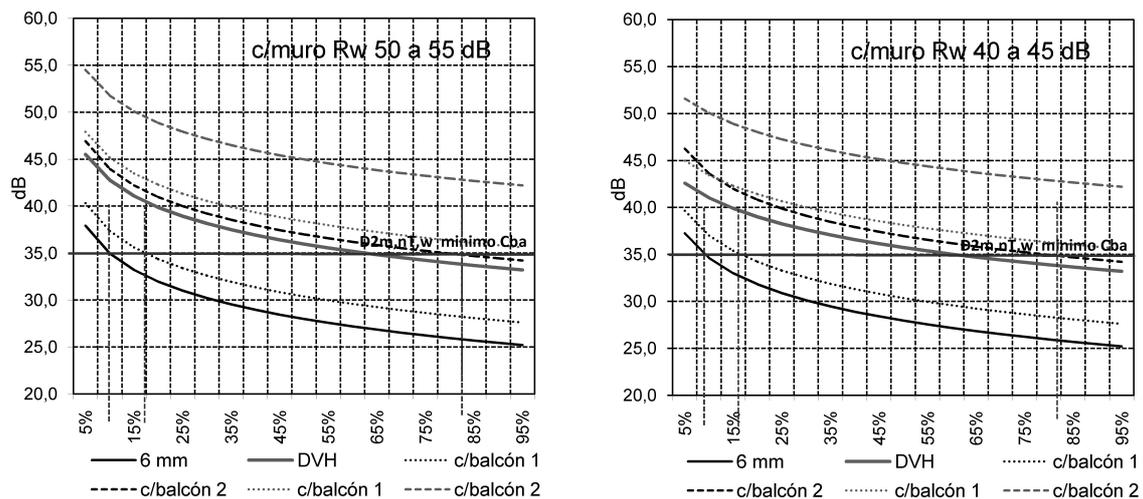


Figura 10
Reducción del aislamiento acústico. Influencia del aislamiento discontinuo

En análisis realizados se puede observar que cuando se utilizan vidriados con mayor capacidad de aislamiento (DVH), el porcentaje vidriado puede ser hasta un 60% del total del cerramiento, mientras que si se utilizan vidrios menos aislantes (vidrio de 6 mm) no se debería superar el 10% del total, para alcanzar un aislamiento mínimo de 35 dB.

Un importante aporte al control del ruido en envolventes exteriores lo realiza la forma de las fachadas que pueden contribuir por apantallamiento a reducir la propagación y atenuar el impacto sobre el cerramiento propiamente dicho. En este marco es necesario el estudio del aporte del aislamiento debido a la forma de la envolvente como contribución al diseño integral de la misma. En los resultados obtenidos a partir de un relevamiento de distintos tipos constructivos de balcones en edificios ubicados en las principales avenidas del área central de la ciudad de Córdoba simulados acústicamente, (Maristany et al, 2016) se demostró la influencia que tiene el uso de materiales absorbentes, el ancho de los balcones y las características superficiales y formales de los diferentes tipos de barandas en el aislamiento integral de las envolventes. En la figura 11 se muestran ejemplos de balcones de diferentes conformaciones y su contribución al aislamiento acústico.

Baranda de mampostería 0,30 m con pasamano de reja		Baranda de mampostería 0,70 m con pasamano de reja		Baranda de vidrio o chapa separada de la losa y con pasamanos de acero		Baranda de mampostería y/o vidrio	
ΔL_{fs} - Atenuación en dB		ΔL_{fs} - Atenuación en dB		ΔL_{fs} - Atenuación en dB		ΔL_{fs} - Atenuación en dB	
revoque	Madera perforada	revoque	Madera perforada	revoque	Madera perforada	revoque	Madera perforada
2,4 (1 m)	2,7 (1 m)	2,7 (1 m)	3,3 (1 m)	1,5 (1 m)	1,8 (1 m)	5,0 (1 m)	6 (1 m)
5,0 (2 m)	6 (2 m)	5,8 (2 m)	7,8 (2 m)	4,2 (2 m)	5,3 (2 m)	6,4 (2 m)	9 (2 m)

Figura 11

Balcones de diferentes conformaciones y materiales. Contribución en el aislamiento acústico

En las graficas de la figura 10 se observa el incremento de aislamiento potencial producido por dos alternativas (1° de 1 metro con cielorraso revocado y 2° de 2 metros con cielorraso de madera perforada con lana de vidrio). En el primer caso, aunque se tiene la mínima capacidad de atenuación del balcón, se logra entre un 5% y un 10% adicional de superficie vidriada. Mientras que en la segunda alternativa se puede superar el 70% de superficie vidriada y aun así se cumple con los 35 dB tomados como referencia de aislamiento mínimo.

El análisis lumínico

La iluminación natural que ingresa a un ambiente no sólo depende del tamaño y posición de las ventanas, también influye la orientación y forma del local, los colores de las superficies internas, el diseño del vano, espesor de los muros, el mantenimiento general de los distintos componentes, entre otros factores. El correcto diseño, desde el punto de vista del aprovechamiento de la luz natural, de cada uno de estos elementos pertenecientes al sistema de aventanamiento debe ser analizado en función de las condiciones y climas locales a los efectos de optimizar el rendimiento del sistema en cada situación.

La importancia de considerar el diseño de las protecciones solares en los aventanamientos, radica en varias razones, pero fundamentalmente en la necesidad de brindar niveles adecuados de iluminación natural en los espacios interiores, de modo que se garantice el confort visual así como también favorecer el ahorro de energía. En múltiples trabajos se considera que una iluminación natural adecuada, es aquella, cuyos niveles de iluminación son aceptables, es decir, responde a los mínimos establecidos por IRAM, y además, posee una correcta obstrucción de la radiación solar directa, sobre los planos de trabajo. (Gonzalo et al, 2004) (Ledesma et al, 2005) (Casabianca et al, 2009). Considerar dichas condiciones básicas posibilita disminuir el uso de iluminación artificial, favoreciendo el confort lumínico, y por consiguiente, mejorar el rendimiento intelectual y bienestar de sus ocupantes. El confort visual que produce una buena iluminación natural en el trabajo o en el estudio genera una sensación de bienestar general que favorece un mayor rendimiento.

Dentro de las estrategias habituales de control solar los estantes de luz poseen importantes ventajas relativas para la iluminación. Los estantes (Lightself) actúan como reflectores de la luz en sus superficies aumentando el nivel de iluminación en el interior de los locales, “influyen en las posibilidades y características del asoleamiento en invierno y proporcionan protección solar para evitar sobrecalentamiento en épocas cálidas”. (Casabianca, Evans, 2003). Los estantes de luz permiten la redirección de la luz natural, visión al exterior (por el área inferior al estante), conducción de la luz hacia el fondo de los locales (reflejo de la luz en área superior), iluminación homogénea y potencial de ahorro energético en iluminación artificial. (Kischkoweit-Lopin, 2002).

De los estudios comparados realizados para la Ciudad de Córdoba se concluye que los porcentajes de ahorro energético en los sistemas de iluminación artificial cuando se diseñan los sistemas de control solar de manera integrada con la luz natural, pueden alcanzar entre un 20 a un 25%. Estos porcentajes se observan en simulaciones realizadas para evaluar el potencial de mejora en la iluminación mediante reemplazo de sistemas de protección que en la práctica son poco eficiente desde el punto de vista de su influencia en el rendimiento de la luz natural como recurso. Se verifica que el dispositivo móvil, de elementos verticales, es un buen elemento de oscurecimiento que no siempre funciona de manera adecuada para el control solar y aprovechamiento de la luz natural. En la figura 12 se observa un sistema de parasoles de aluminio móviles utilizados en todas las orientaciones, tal como se muestra en la simulación de asoleamiento los parasoles deben estar totalmente cerrados para evitar el ingreso de sol directo y por lo tanto se elimina totalmente la contribución de la luz natural.

En la figura 13 se observan alternativas de sistemas de protección solar dimensionados en este caso para la orientación norte, basado en el concepto de estantes de luz o *lighshelf*. Las seis alternativas fueron simuladas mediante maqueta en cielo artificial, alcanzando incrementos de la CLD importantes tal como se muestran en la tabla 1.



Figura 12
Parasol de aluminio vertical. Simulación de asoleamiento

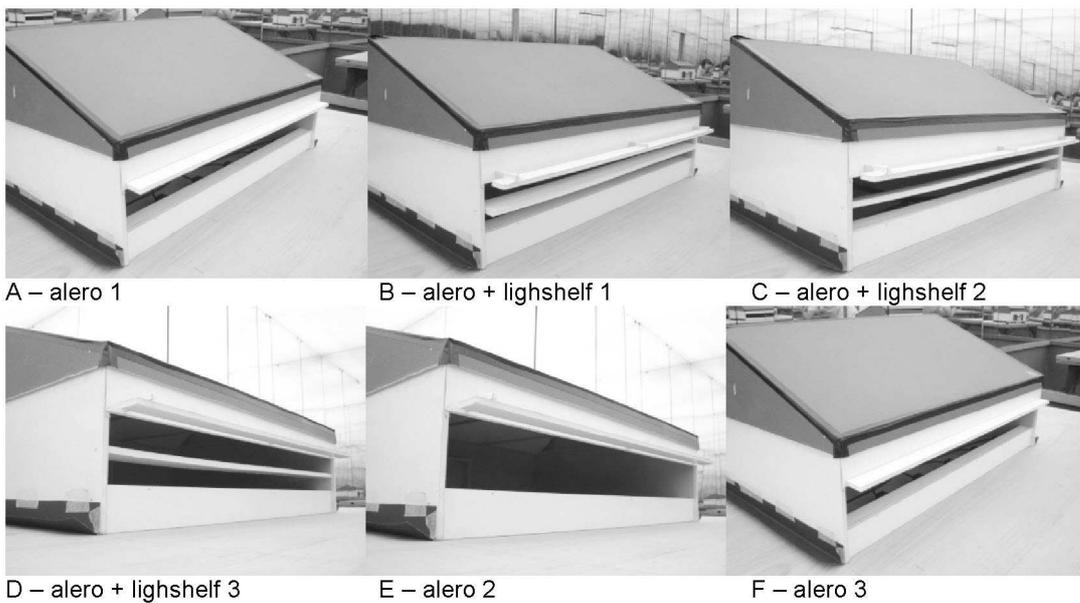


Figura 13
Alternativas con estantes de luz

El sistema propuesto contribuye sustancialmente a optimizar el aprovechamiento de la luz natural como recurso permitiendo un importante ahorro de energía en iluminación al mismo tiempo que permite aprovechar los aspectos cualitativos inherentes a la luz natural. Se destaca la importancia de la evaluación comparativa, para climas templados, entre el rendimiento de un sistema bajo cielo cubierto y para cielo real despejado. El sistema

propuesto tiene posiblemente para cielo cubierto un incremento bajo, situación que se revierte al considerar la posibilidad de la incidencia directa de sol.

Alternativa	CLD cielo CIE	Incremento relativo	CLD cielo real	Incremento relativo	CLD _{real} /CLD _{CIE}
H (existente)	1,86		3,52		1,89
A	2,64	1,42	4,8	1,36	1,82
B	2,44	1,31	6,55	1,86	2,68
C	2,63	1,41	6,2	1,76	2,36
D	3,73	2,01	6,8	1,93	1,82
E	3,93	2,11	7	1,99	1,78
G	2,62	1,41	6,5	1,85	2,48

Tabla 1

Análisis comparativo de CLD para diferentes alternativas de protección

El diseño de la envolvente transparente o translúcida, debe encontrar la adecuada relación entre necesidad de iluminación, control de radiación solar, control de ganancias y control de pérdidas de calor. Los “huecos acristalados”, desde el punto de vista energético son los elementos más vulnerables que constituyen la envolvente arquitectónica.

Las actuaciones a llevarse a cabo, son decisiones que debe tomar el proyectista en el inicio del proceso de diseño, considerando el emplazamiento, orientación de la fachada, coeficiente de luz diurna, área de aventanamiento, superficie del local, características de la radiación solar y protecciones. Además implica la selección de elementos transparentes o translúcidos considerando los coeficientes de transmisión y reflexión de luz visible, la transmitancia térmica y el factor, sin descuidar el coeficiente de transparencia, es decir la relación entre la envolvente opaca y la transparente

Esquema metodológico de análisis de parámetros energéticos

Conocer cuales son las condiciones ambientales externas considerando datos regionales, geográficos, meteorológicos, topográficos, normativos, así como aquellos aspectos funcionales y tecnológicos que son propios o dependientes de las características de las envolventes desde el inicio del proceso de diseño, nos permite lograr una definición general de la misma, como filtro ambiental. Debemos entonces definir cuáles son los parámetros propuestos, de modo de lograr esa condición. Estos parámetros forman parte de una estructura interrelacional, donde al variar una parte, se recrean nuevas configuraciones de la envolvente arquitectónica y urbana con diferentes respuestas ante los factores físicos que son parte del medio ambiente: el calor, la luz y el sonido.

En la tabla N° 2 se presentan las condiciones exteriores a considerar, los referenciales interiores de confort, las propiedades físicas de los elementos constructivos y conformación de los mismos y su relación con los tres factores físicos ambientales principales: térmicos, visuales y acústicos.

El objetivo principal del presente trabajo es la búsqueda de criterios de diseño que permitan la construcción de una envolvente con un rendimiento óptimo en relación a las

condiciones de confort térmico, visual y acústico, teniendo en cuenta propiedades de la envolvente tales como la función, forma, permeabilidad, protecciones, masa, color, etc.. La envolvente se constituye en una barrera de protección y generadora de confort interior exterior. En cada uno de los aspectos mencionados es fundamental tener en cuenta que las propiedades de las envolventes anteriormente mencionadas influyen dependiente e independientemente en el aislamiento acústico, térmico y lumínico tal como se muestra en la tabla N° 3.

		TÉRMICOS	ACUSTICOS	LUMINICOS
Condiciones ambientales exteriores		T y HR Velocidad del aire Radiación solar	Nivel y espectro de ruido Tipo de fuente	Iluminación exterior horizontal FVC (SVF)
Referenciales interiores de confort		T y HR confort Velocidad aire TRM - WBGT	Nivel sonoro y espectro aceptable Criterio NC	Nivel de Iluminancia y Luminancia - CLD IRAM-AADL
Propiedades físicas de los componentes constructivos	Transparentes	FSV (factor solar) τ (transmisividad) Coeficiente K	Rw	FSV (factor solar) τ (transmisividad)
	Opacos	Coeficiente K Capacidad térmica	Rw	Reflectividad
Conformación de los componentes constructivos	Elementos Posición y forma de los planos límites	Aleros Protecciones Deflexiones Cámaras ventiladas	Pantallas acústicas Cavidades Pantallas absorbentes	Lamas verticales Lamas horizontales Alturas de parapetos Salientes balcones
	Referenciales	Factor de sombra Inercia térmica Flujos de aire	Nivel (dB) de atenuación acústica	Reflexión de la luz Control de sol directo

Tabla N° 2
Estructura interrelacional entre los factores físicos y los aspectos ambientales

Propiedades de las envolventes	Aislamiento térmico	Aislamiento acústico	Iluminación
Morfología urbano edilicia	Sombras. Ventilación natural. Control del ingreso de sol	Incremento del aislamiento acústico	
Permeabilidad	Disminución del aislamiento térmico	Debilitamiento del aislamiento acústico	Posibilidad de ingreso de luz natural
Masa	Inercia térmica de las envolventes	Incremento del aislamiento acústico	
Protecciones	Control del ingreso de sol	Apantallamiento-barrera	Evitar el ingreso de la luz solar
Textura	Absorción – reflexión de la energía calórica	Absorción – reflexión de la sondas sonoras	Difusión, absorción y reflexión de la luz
Color	Absorción reflexión de la energía calórica		Reflexión y absorción de la luz

Tabla N° 3
Propiedades de las envolventes y su influencia en el aislamiento acústico, térmico y lumínico

Conclusiones

La envolvente no solo es un elemento que cierra los espacios interiores, también limita los exteriores, dando significación a los mismos e influyendo en las condiciones ambientales. Es así que el concepto de envolvente urbana adquiere mayor significancia, al relacionar los límites de los espacios, los diafragmas entre ellos, en relación al confort. La envolvente arquitectónica se diseña con relación a varios condicionantes: ambientales, tecnológicos, socio culturales, funcionales, económicos y formales (Koçlar Oral, 2004). En el caso de los factores ambientales están representados por parámetros físicos energéticos que se manifiestan como preexistencias ambientales

Se analizaron las variables energéticas destinadas a optimizar el uso de la energía en donde se han explicado algunas alternativas que pueden ser utilizadas en la construcción a los fines de lograr condiciones de confort térmico, acústico y lumínico.

A dichos efectos se analizó la envolvente desde el punto de vista higrotérmico, considerando la respuesta de los materiales opacos y transparentes a la transferencia de calor y las alternativas constructivas para optimizar su comportamiento. Desde el punto de vista acústico, el aislamiento de las distintas superficies que conforman una fachada así como la forma de la misma y su influencia en el aislamiento acústico global. Desde lo lumínico la determinación del tamaño de los aventanamientos, ubicación en relación a la orientación y optimización mediante el uso de protecciones solares

Asimismo se considera un esquema metodológico de análisis a modo de proceso en el procedimiento de diseño que posibilitaría evaluar un proyecto previo al proceso de construcción. Dicha evaluación es importante a los efectos de garantizar protección térmica, acústica y lumínica mediante la determinación de valores óptimos en los parámetros de diseño.

Es necesario continuar con el estudio de las principales técnicas compositivas usuales de las envolventes urbanas, su interacción con los factores ambientales (preexistencias) y su influencia en las condiciones de confort en la ciudad, considerando al confort como una situación de equilibrio de la ciudad en su conjunto, tanto de ambientes interiores como exteriores.

Bibliografía

Varini C. (2009) Envolventes arquitectónicas: Nueva frontera para la sostenibilidad energético-ambiental. ¿Cuales modelos y cuáles aplicaciones? Revista Alarife, 17, p79. Colombia.

UNE-EN (2006) 7730 Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local (ISO 7730:2005).

Santamouris, M., Synnefa, A., & Karlessi, T. (2011) Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. *Solar Energy*, 85(12), 3085-3102.

Akbari, H., Rose, S., & Taha, H. (2003) Analyzing the land cover of an urban environment using high-resolution orthophotos. *Landscape and Urban Planning* 63, 1-14.

Alchapar N. L., Correa E. N., & Cantón M. A., "Índice de reflectancia solar de revestimientos verticales: potencial para la mitigación de la isla de calor urbana," *Ambiente Construido*, 2012, vol. 12(3),107-123.

Alchapar N. L., Correa E. N., & Cantón M. A. (2014) Classification of building materials used in the urban envelopes according to their capacity for mitigation of the urban heat island in semiarid zones, *Energy Building*. vol. 69, pp. 22-32.

Alchapar N. & Correa E. (2011) Comportamiento térmico de revestimientos verticales, en la mitigación de la isla de calor urbana. Índice de reflectancia solar, *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, vol. 15, 55-64.

UNE-EN (2000) 12354-3 "Acústica de la Edificación. Estimación de las Características Acústicas de las Edificaciones a partir de las Características de sus Elementos. Parte 3 - Aislamiento Acústico a Ruido Aéreo contra Ruido del Exterior".

Ledesma, S. L., Cisterna, M., Vega, G. M., Quiñones, G., Nota, V. M., & Gonzalo, G. E. (2005).

Ledesma, S., Gonzalo, G., Cisterna, M., Márquez Vega, S., Quiñones, G., Nota, V. (2004) Evaluación Comparativa de Eficiencia de Parasoles y su Incidencia en la Iluminación Natural de Aulas en San Miguel de Tucumán. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 8, N° 1, 55-60.

Pattini, A. (2005). Evaluación de la Iluminación Natural en Edificios. Modelos a Escala. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 9.

Ledesma S.L., Cisterna M.S., Márquez Vega G., Quiñones G., Nota V.M., Gonzalo G.E. (2005). Evaluación del Ahorro Energético en Iluminación Artificial en Aulas de Edificios Escolares en Tucumán. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 9, 2005.

Casabianca, G., Evans J. M., Snoj M. V. (2009). Evaluación de Condiciones de Iluminación en Aulas del Área de Educación Deportiva de la UBA. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 13, 2009.

Maristany A., Branco C., Durán M., Varas M. (2016a) Aproximación al potencial de uso y desempeño energético de fachadas ventiladas en Córdoba, Argentina. XX Congreso ARQUISUR. Universidad del Bio-Bio. Concepción. Chile.

Rivoira, A. (2011) Comportamiento higrotérmico del hormigón y el vidrio en el clima de Córdoba. Un caso: Facultad de Lenguas. Universidad Nacional de Córdoba. Trabajo Final Especialización en Tecnología Arquitectónica. FAUD-UNC.

Maristany A., Rivoira A., Asbert A., Di Forte G., Lambertucci M. y Palacios M. (2016b) Materiales fríos en la envolvente urbano – arquitectónica como aporte a la construcción sostenible. Caso Córdoba”. VIII Creta Congreso Regional de Tecnología de la Arquitectura. Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de San Juan.

Maristany A., Abadía L., Agosto M., Carrizo Miranda L. (2016c) Control del ruido en fachadas como aporte a la sustentabilidad acústica”. XX Congreso ARQUISUR. Universidad del Bio-Bio. Concepción. Chile.

Casabianca G.A., Evans J.M. (2003). Estantes de Luz: Verificación de Iluminación Natural, Asoleamiento y Protección Solar en Maquetas de Ensayo. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 7, N° 1, 2003.

Kischkoweit-Lopin, M. (2002). An Overview of Daylighting Systems. Solar Energy Vol. 73, No. 2, pp. 77–82, 2002. Elsevier Science.

Simpson y Mc Pherson (1997) En Zinzi, M., & Agnoli, S. (2012). Cool and green roofs. An energy and comfort comparison between passive cooling and mitigation urban heat island techniques for residential buildings in the Mediterranean region. Energy and Buildings, 55, 66-76.