

# Fachada variable: Método para aplicar una fachada dinámica en Santiago

**Claudio Vásquez**

**Renato D'Alençon**

**Pedro Pablo de la Barra**

La exposición solar es un fenómeno variable que obliga a concebir las fachadas de los edificios como un componente arquitectónico que debe adaptarse a esta variación. Sobre esta premisa se han desarrollado varios conceptos que apuntan a dar un carácter dinámico a la relación interior-exterior que las fachadas deben mediar. En este artículo se propone el concepto de Fachada Variable, que corresponde a un concepto de diseño técnico y arquitectónico que va desde la ausencia de protección solar a soluciones fijas y móviles mecanizadas, aplicadas para el control de la radiación solar y de la transmisión lumínica con el objetivo de alcanzar el mejor equilibrio entre rendimiento energético y confort ambiental para los usuarios de los edificios. El desarrollo de este concepto se basa en la formulación de un método que combina campañas de medición de prototipos en escala 1:5 y procesos de simulación digital para llevar los resultados experimentales al análisis de desempeño anual. Este método es compatible con las iteraciones del diseño arquitectónico, ya que permite probar un mayor número de opciones, evitando a través del uso de prototipos a escala la mayoría de las variables de construcción que la escala 1:1 obliga a resolver con mayor costo y demora. Presentamos en este trabajo el Laboratorio de Protecciones Solares, LAPSO (Laboratorio de Protecciones Solares) una plataforma de medición que permitirá el desarrollo del concepto de Fachada Variable.

## INTRODUCCIÓN

La exposición a la luz natural y a la radiación solar en los edificios no es constante: varía en altura, en orientación y en el tiempo, especialmente en situaciones urbanas. Para ilustrar este problema, la figura 01 muestra la exposición anual de un edificio de oficinas en Santiago, donde se aprecian las diferencias de insolación en las distintas orientaciones y estaciones del año, lo que indica que el diseño de la fachada no puede ser uniforme y debe responder a la situación que enfrenta.

Por otra parte, el uso de protecciones solares también puede transformarse en un problema si se aplican sin considerar que deben controlar al mismo tiempo la radiación solar y la luz natural, cuyo funcionamiento es muchas veces contradictorio ya que una buena iluminación supone una mayor ganancia solar y viceversa. Para ilustrar este problema se presentan los gráficos de transmisión solar y lumínica de dos prototipos orientados al norte en un día despejado de verano: una fachada totalmente vidriada (FIG 02 izq.) y otra con celosías horizontales fijas como sistema de protección solar (FIG 02 der.). Las mediciones se realizaron en una cámara de pruebas a escala 1:5 donde se registró la radiación solar el plano de fachada (interior y exterior) y las iluminancias horizontales (interior en el frente, interior en el fondo y exterior).

El gráfico de la fachada sin protección solar (izq.) muestra el acoplamiento que se produce entre los niveles de iluminancias del frente de la planta y la radiación solar, llegando a sus máximos respectivos al mediodía y decayendo hacia la mañana y hacia la tarde, siguiendo correlativamente la posición del sol. Por su parte, en el fondo de la planta, la iluminación natural es prácticamente nula, contrario a lo que ocurre en el frente, lo que indica una importante probabilidad de deslumbramiento. Dicho acoplamiento de iluminancia y radiación es considerado un problema ya que implica altas temperaturas interiores, altos niveles de deslumbramiento y bajas iluminancias en el fondo, conjunto de condiciones que describe problemas de confort visual y térmico en el espacio interior y un ineficiente uso de la energía, por las demandas asociadas de climatización e iluminación artificial.

## DESACOPLAMIENTO ENTRE LA GANANCIA SOLAR Y LA ILUMINACIÓN NATURAL

Un problema específico para los edificios con fachada vidriada es el desacoplamiento que se produce entre la ganancia solar y la iluminación natural, debido a su correlación con la geometría del sol. La causa es que ambos fenómenos

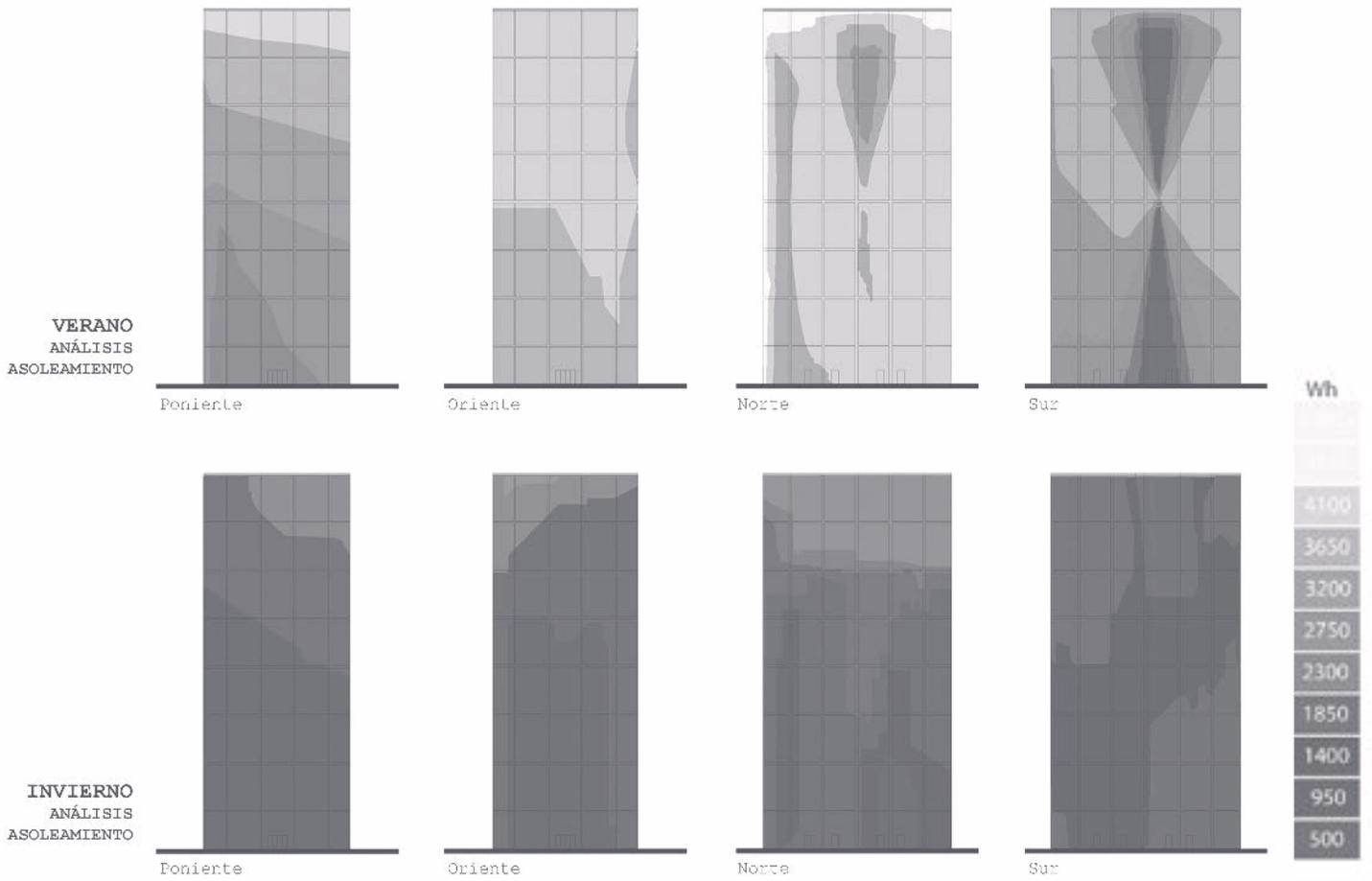


FIG. 01

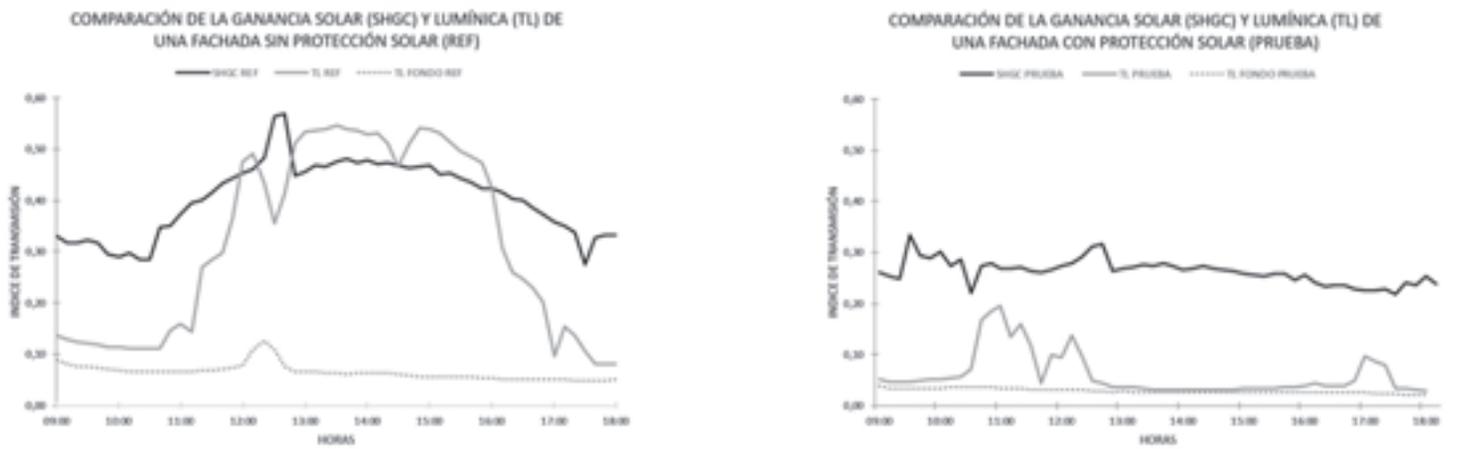


FIG. 02

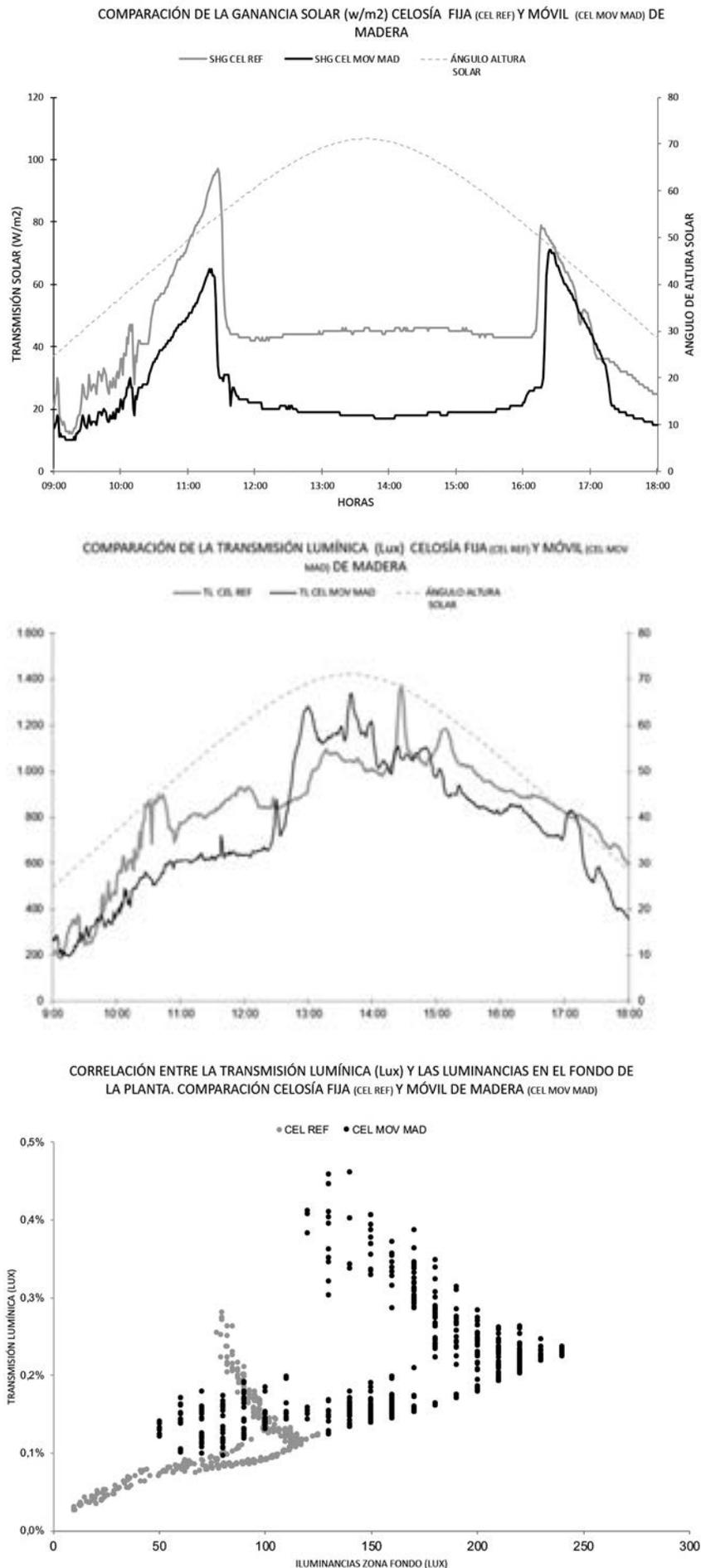


FIG. 03

son proporcionales a la radiación incidente en la fachada y el efecto es que las altas ganancias son incompatibles con el confort de los usuarios a un costo energético razonable. El gráfico de la fachada sin protección solar (FIG. 02 der.) muestra que cuando se utiliza una protección solar, la iluminación natural y la radiación solar se desacoplan, dejando de existir una correlación directa de las ganancias con la posición del sol. Al mismo tiempo, la iluminación natural del fondo de la planta se mantiene en niveles absolutamente dispares con el frente, por lo tanto, los problemas de confort visual persisten. Este desacoplamiento y la persistencia del deslumbramiento indican que la radiación solar y la iluminación natural pueden ser tratados como fenómenos separados, lo que se presenta como una oportunidad para pensar el diseño de una protección solar que trabaje con ambos fenómenos desacoplados pero coordinados para optimizar las condiciones de confort térmico y visual, minimizando las demandas energéticas por climatización e iluminación artificial.

Los gráficos de la figura 03 muestran la comparación entre una celosía horizontal fija y otra móvil, ambas de madera, geoméricamente idénticas, orientadas hacia el norte y medidas el mismo día de verano en Santiago. El patrón de movimiento consiste en que las celosías giran en sí mismas para abrir o cerrar el paso del sol de acuerdo a la intensidad de la radiación solar incidente, que es registrada por un piranómetro ubicado en el exterior, paralelo a la fachada. La posición de las lamas es perfectamente horizontal, equivalente a  $0^\circ$ , cuando están completamente abiertas y perfectamente vertical, en  $90^\circ$ , cuando están cerradas. El motor es un servo controlado por una placa Arduino que lo controla para llevar las celosías a la posición  $0^\circ$  cuando el piranómetro lee  $0 \text{ W/m}^2$  y a  $90^\circ$  cuando lee  $400 \text{ W/m}^2$ .

El primer gráfico de la figura 3 representa la transmisión solar de la celosía fija y de la móvil, según el patrón descrito. Es apreciable que alrededor del mediodía, cuando las celosías horizontales funcionan eficientemente, la radiación solar transmitida por la celosía móvil llega prácticamente a la mitad de la celosía fija, lo que debiera traducirse en una apreciable disminución del consumo de energía de refrigeración en verano. El segundo gráfico de la figura 3 muestra qué ocurre con las iluminancias en el frente, es decir cercano a la fachada, durante el día. Es apreciable que la situación de ambas celosías es muy similar: a partir de las 10 AM oscilan entre 500 y 1200 lux, rangos aceptables para realizar las actividades propias de una oficina. Recordemos que este patrón de movimiento se activa con la radiación solar incidente, no responde a la disponibilidad de luz natural, por lo tanto, sería posible mejorar todavía el desempeño lumínico de la celosía móvil activando un patrón de movimiento asociado a las iluminancias (lux).

El tercer gráfico de la figura 3 muestra el efecto del patrón de movimiento en la iluminación del fondo, entre 6 y 8 m de distancia de la fachada. Se comparan las iluminancias en función del factor de transmisión lumínica, aspecto crítico en esta zona de una planta. La celosía fija muestra que las iluminancias no llegan en ningún momento a 150 lux para índices de transmisión lumínica que no superan el 3%, por el contrario, la celosía móvil llega a

valores entre 50 y 250 lux con índices que casi llegan al 5%. Aunque el resultado no es el óptimo que se buscaría alcanzar, este análisis muestra que el movimiento logra mejores resultados en la iluminación del fondo de la planta, aun cuando, en este caso, la fuente que activa el movimiento es la radiación solar, según hemos antes dicho.

El conjunto de gráficos permite comprender que una protección solar móvil potencialmente permite controlar el desacoplamiento observado en la figura 01, lo que abre las preguntas sobre cuál debe ser el patrón de movimiento, sobre todo, como debe ser diseñado e integrado a la arquitectura de un edificio.

## ESTADO DEL ARTE

Diversos conceptos se han asociado a la posibilidad de contar con sistemas de fachada capaces de responder de forma específica a las condiciones externas e internas que deben vincular. Las Fachadas Inteligentes (Compagno, 2002) fueron planteadas bajo la lógica de que, si las condiciones externas cambian, la fachada del edificio debe hacerlo de forma coherente. Otras definiciones son las de Fachadas Activas (Xu et al., 2008) o Fachadas Responsivas (Wigginton, 2002; Knaack, 2007) que son aquellas que tienen la capacidad de adaptarse o responder a determinadas condiciones ambientales o de uso. Ambos conceptos apuntan a lo mismo y fueron planteados cuando recién se comenzaba a pensar en el problema.

La definición general que permitió conceptualizar este tipo de envolventes fue propuesta por Loonen bajo el nombre de “Climate Adaptive Building Shells” (CABS), definidas como sistemas de fachada capaces de adaptarse para alcanzar altos estándares de desempeño (Loonen, 2013). Comparadas con los sistemas de fachada convencionales, las CABS ofrecen un enorme potencial en el ahorro de energía y una ostensible mejora de la calidad del ambiente interior a través de la combinación de tecnologías activas y pasivas aplicadas para que la envolvente se adapte a los requerimientos que se le impongan. El principal valor de esta definición fue que permitió reunir una serie de ideas y conceptos desarrollados de forma dispersa bajo un criterio común, aun cuando todos dichos conceptos no pueden hasta hoy considerarse maduros ya que hay diversas áreas de desarrollo pendientes para permitir su aplicación masiva en edificios.

Otras investigaciones han mostrado que la automatización de la fachada permite mejorar las condiciones lumínicas interiores (Mettamant et al, 2014), tanto en invernaderos (Bastien and Athienitis, 2011) como en fachadas de edificios (Aste et al, 2012). En general estos estudios proponen que el movimiento de las protecciones solares permite mejorar la calidad del ambiente interior y disminuir el consumo de energía. Esto es particularmente importante en el sector de la edificación terciaria, donde las cargas internas de los edificios son altas y constantes durante las horas en que el sol incide en la envolvente, por lo tanto su control permitiría rebajar uno de los principales componentes del balance térmico interior: la ganancia solar, aspecto particularmente importante en climas como el de Santiago.

Aunque se ha insistido en que la adaptabilidad de la fachada es una solución idónea para responder a la trayectoria solar, la coordinación de movimientos capaces de responder a la radiación solar y a la iluminación natural de forma simultánea es un campo inexplorado y no cuenta con soluciones a nivel tecnológico (Favoino et al., 2014). En el campo del diseño se ha propuesto una metodología para definir rangos óptimos de desempeño termo óptico de fachadas vidriadas capaces de reaccionar en tiempos controlados con el objetivo de desarrollar fachadas vidriadas adaptativas. Las líneas actuales del desarrollo de este tipo de fachadas son diversas. Algunos se han focalizado en soluciones integradas y prototipos, como ACTRESS (ACTive, RESPONSive and Solar Façade); otros en la interacción del usuario con los sistemas de control (Favoino et al., 2016); e incluso en el desarrollo de revestimientos adaptativos a partir de sistemas constructivos tradicionales (Goia y Cascone, 2014).

A pesar de esto, todo el desarrollo al que se ha llegado hasta este momento muestra más bien las expectativas que generan este tipo de fachadas y no permiten su aplicación ante condiciones específicas, cuestión a la cual nos abocamos en este trabajo. Es importante considerar que, de una u otra manera, los distintos desarrollos e investigaciones hoy existentes coinciden en la importancia de coordinar el diseño arquitectónico con las múltiples posibilidades que entregan este tipo tecnologías, ya que de otra manera ellas jamás serán aplicadas. Esto pone un desafío especial a los arquitectos, cuyo rol como coordinadores del trabajo de los diversos especialistas es fundamental para que ellas, finalmente, puedan existir. Desde este punto de vista, una variable fundamental es la necesidad de que los desarrollos alcanzados a nivel científico sintonicen con las realidades de los mercados y de la industria de la construcción en el contexto donde sean aplicadas, otro aspecto sobre el cual buscamos trabajar.

## EL CONTEXTO CHILENO

El principal objetivo de este trabajo es enfrentar el desafío de llevar los conceptos e ideas que desde la ciencia se han demostrado como viables al contexto chileno, considerando el desafío que representa el clima semiárido (BSK, según la clasificación climática de Köppen) de Santiago, que se caracteriza por contar con altos índices de insolación.

En trabajos anteriores (Vásquez et. al., 2015) hemos logrado establecer la existencia de una correlación entre la transparencia de las fachadas, el confort térmico de los usuarios y el consumo energético de los edificios. Sabemos fehacientemente que, en verano, en los edificios de muros cortina el confort térmico se alcanza durante un 55-60% del tiempo. Respecto al confort lumínico, hemos detectado el bajo rendimiento de la envolvente para permitir la iluminación natural, que alcanza estándares aceptables en un 22-25% del tiempo en verano debido a que la presencia de deslumbramiento obliga a los usuarios a bloquear el paso de la luz natural con cortinas que generan bajos niveles de iluminancias, especialmente en el fondo de las plantas. Estos patrones de desempeño se traducen en un indiscriminado uso de energía, tanto para climatizar como para iluminar artificialmente. Es por esto que la correlación existente entre el consumo de energía y la transparencia de las

fachadas de los edificios alcanza valores de  $R^2$  en torno a 0,97 en verano, lo que muestra una robusta dependencia entre ambos. Por último, todo este cuadro redundante en que la anhelada arquitectura transparente no es posible y la relación espacial entre el interior termina siendo precaria.

Por otro lado, también hemos podido establecer la disponibilidad de más de 745.000 m<sup>2</sup> de fachadas que requieren protección solar para mejorar el desempeño de más 2.000.000 m<sup>2</sup> de oficinas, considerando los edificios con permiso o recepción final en el periodo 2005-2012. También hemos logrado establecer que el uso de algún tipo de protección solar alcanza sólo al 27% del parque construido de edificios de oficina el dicho periodo (Vásquez et. al., 2015), sin embargo, su aplicación no determina el mejor desempeño de los edificios. Tanto los edificios que hoy están en operación, como aquellos que se siguen diseñando y construyendo con el mismo criterio, representan una oportunidad para aplicar una solución capaz de mejorar tanto el confort como el desempeño energético a través del control del desacoplamiento de la radiación solar y de la iluminación natural, según antes vimos.

El estado del arte internacional sugiere que las protecciones solares móviles son la solución que mejor resuelve el problema al cual nos enfrentamos, sin embargo, esto debe ser demostrado por la vía experimental antes de ser desarrollado a nivel tecnológico en Chile.

## FACHADAS MÓVILES EN CHILE

En Chile, la posibilidad de utilizar protecciones solares dinámicas está disponible en el mercado a través de varios productos ofrecidos por la compañía Hunter Douglas. Estas soluciones para la adaptabilidad de las fachadas se han aplicado en algunos edificios actualmente en funcionamiento, sin embargo, el énfasis de estos productos está en responder a un patrón de movimiento binario y automatizado, no al acondicionamiento de un espacio interno con cualidades ambientales específicas. La reactividad a múltiples patrones determinados por más de un tipo de estímulo externo, como la radiación y la luz natural, por ejemplo, aún no se ha desarrollado o implementado.

Hasta el momento, dos edificios han aplicado sistemas de fachadas móviles de posición binaria (abierto-cerrado), consistentes en persianas enrollables exteriores. Ellas son:



FIG. 04

**EDIFICIO TRANSOCEÁNICA, + ARQUITECTOS**

La figura 04 incluye una solución que combina soluciones estáticas y dinámicas yuxtapuestas a la forma sinuosa del edificio. La solución dinámica consiste en un sistema de cortina enrollable que es accionado por la presencia radiación solar directa, detectada por una mini estación meteorológica ubicada en el techo del edificio. La solución estática es una celosía de madera que complementa el trabajo de la cortina. El sistema fue instalado y es mantenido por una compañía extranjera que es responsable de su operación.

**EL EDIFICIO ITAU, DISEÑADO POR ESTUDIO LEYTON ARQUITECTOS**

FIG. 05

Es el primer edificio corporativo con certificación LEED construido en Chile y cuenta con una cortina externa automatizada que forma parte de un sistema centralizado de gestión ambiental del edificio. Las cortinas exteriores de la fachada que enfrenta el norte también se activan de forma binaria por la presencia de radiación solar. (FIG 05)

Estos casos son innovaciones importantes en Chile y demuestran que es posible aplicar estas tecnologías, aun cuando es necesario desarrollar soluciones que consideren algoritmos de control más complejos para alcanzar el potencial que tiene este tipo de fachada. En ambos casos la iluminación depende de la trama de la tela de las cortinas y no se resuelve la iluminación del fondo de la planta ni el contraste en el frente, cerca de la fachada.

En el mercado chileno de sistemas de protección solar, las soluciones disponibles son persianas enrollables exteriores, del tipo aplicado en los casos anteriores, toldos y varias soluciones de persianas móviles. La automatización es un valor agregado que depende del proyecto y su aplicación no está asociada con un patrón de movimiento optimizado o yuxtapuesto.

En este contexto, la contribución de este proyecto es la introducción de patrones de movimiento capaces de coordinar la iluminación solar y las ganancias solares (radiación) en los edificios, un campo inexplorado en el que no existen soluciones tecnológicas adecuadas a los estándares de construcción y las condiciones del mercado chileno. La solución a este problema debería centrarse en innovaciones sencillas, utilizando patrones de movimiento simples y compatibles con las soluciones aplicadas en Chile, pero con notables atributos de eficiencia. El uso de patrones de movimiento simples asegurará que los componentes principales y las partes del sistema, tales como motores y partes mecánicas, se



FIG. 06

puedan empaquetar y estén fácilmente disponibles en el mercado.

A nivel de diseño el desafío consiste en alcanzar estándares de evaluación que permitan evaluar de forma solvente el desacoplamiento de la radiación solar y la luz natural a través de un método que sea empático con el diseño arquitectónico. A esto llamamos Fachada Variable.

**FACHADA VARIABLE**

La forma de los edificios determina diversos aspectos asociados a su desempeño energético, por eso las decisiones tomadas en las primeras etapas del diseño arquitectónico resultan fundamentales a la envolvente (Granadeiro et al., 2013). La correcta selección del sistema de protección solar se encuentra entre las decisiones críticas asociadas a las primeras etapas del diseño arquitectónico por su alta incidencia en el desempeño del futuro edificio, sin embargo, existe enormes restricciones para el cálculo de su desempeño cuando se trata de sistemas multicapa ya que en ellos ocurren múltiples fenómenos al mismo tiempo, especialmente si tienen la capacidad de moverse o variar. Esto se hace más crítico al considerar la dificultad que supone contar con rutinas de modelación en las primeras etapas del diseño arquitectónico, ya que existe un desfase entre los tiempos de modelación y las iteraciones propias del proyecto (Negendahl, 2015).

Fachada Variable es un concepto que apunta al corazón de este problema, que es el diseño, a través de una metodología que busca ceñirse a la forma de trabajo del arquitecto a través del prototipado a escala bajo la lógica de la iteración de opciones para la toma de decisiones informadas. Por otra parte, una Fachada Variable busca responder a uno de los problemas más importantes a los que se enfrenta el desempeño energético de los edificios, cual es alcanzar en operación las expectativas planteadas en el proyecto, ya que, ambas etapas a menudo no calzan. Este desfase se denomina "brecha de desempeño" (*performance gap*) y se ha identificado transversalmente en el ámbito de la construcción, pudiendo un edificio en operación superar en 2,5 veces el consumo energético previsto en su proyecto (De Wide, 2014). Esto no es aceptable, sin embargo, ocurre comúnmente.

Entre las razones identificadas para explicar la brecha de desempeño se encuentra la limitación de los modelos digitales utilizados para predecir las demandas, ya que, ellos recurren a una excesiva simplificación de la realidad. Por ejemplo, normalmente se definen de forma inexacta las zonas térmicas y se recurre a una excesiva simplificación de la envolvente, especialmente si ella es multicapa (Herrando et al., 2016; Marshall et al., 2016; Menezes et al., 2012). Otras razones consideradas basales son la imposibilidad de predecir el comportamiento de los ocupantes (Ahn et al. 2017; Cali et al., 2016) y el uso de parámetros por defecto para simplificar el cálculo (Mantesi et al., 2018). Entre las soluciones se ha planteado la necesidad de mejorar la calidad de los datos utilizados para las predicciones y aumentar los márgenes de seguridad (De Wilde, 2014). Especialmente se ha detectado la necesidad de trabajar en base a modelos calibrados con mediciones in-situ de los edificios para reducir la "brecha predictiva" que supone la modelación digital (Menezes et al., 2012; Marshall et al., 2016).

Consciente de este problema, el concepto de Fachada Variable se basa en una metodología donde diversos prototipos a escala 1:5 de las opciones de diseño son testeados en laboratorio para obtener información que permita calibrar modelos digitales (FIG. 06). La calibración permitirá luego modelar sobre la base de una reducción de la brecha de desempeño en aquello relativo a la aplicación de la protección solar y sobre esta base responder preguntas como la idoneidad de una u otra opción de diseño o del movimiento, según sean las condiciones de aplicación. En el caso de soluciones móviles, las pruebas de laboratorios permiten el control de la protección para conocer su desempeño bajo diversos patrones de movimiento cuestión que permite alcanzar altos estándares de predictibilidad.

El trabajo en escalas sucesivas previas a la ejecución es propio del trabajo en arquitectura y se lleva adelante bajo diversos formatos de representación. Entre ellos, las maquetas y prototipos a escala están arraigados a la su tradición productiva, sin embargo, sus restricciones como representación de la realidad son diversas. Por ejemplo, las cualidades de una forma arquitectónica son analizables en una maqueta a escala, sin embargo, las características mecánicas de su estructura no, ya que las propiedades resistentes de los materiales son dependientes

del tamaño. Por el contrario, una maqueta permite analizar el comportamiento de la radiación solar y de la luz natural ya que son fenómenos electromagnéticos que se propagan en el espacio con independencia del tamaño de los objetos con que deben interactuar, sin embargo, es imposible reproducir los fenómenos térmicos asociados a la transmisión de la radiación. Esto se debe a que la conductividad térmica de los materiales no es reproducible y la transmitancia térmica de un elemento constructivo depende de los materiales y sus espesores, cuestión que una maqueta no puede representar. A pesar de todo, esta limitación puede ser suplida por la modelación digital en la medida que el modelo sea capaz de reducir la brecha predictiva antes mencionada (Geletka, 2012; Granadeiro et al., 2013).

El caso de las protecciones solares es quizás de los pocos en que los aspectos relevantes de diseño aceptan su análisis en modelos o maquetas a escala porque la interacción con la radiación solar o la luz natural porque las propiedades ópticas de las superficies son independientes del tamaño y además es posible aproximarse a ellas por la alta incidencia que tienen las características de la superficie y el color.

## **CONCLUSIÓN**

El objetivo de este artículo es presentar el concepto de Fachada Variable, que debe entenderse como la adaptación de los diferentes conceptos asociados a la reactividad de los sistemas de fachada en un contexto social y económico particular, como el chileno.

El diseño de una Fachada Variable supone dotar de inteligencia al diseño de protecciones solares analizándola a partir de un proceso iterativo de mediciones de laboratorio y modelación a partir de prototipos de bajo costo por fabricarse a escala. La posibilidad de analizar patrones de movimiento, permite además dotar de inteligencia a la operación de las protecciones para alcanzar condiciones de funcionamiento adecuadas a los requerimientos y expectativas del usuario.

De lo anterior se desprende que una Fachada Variable no es una solución específica o un producto de fachada, sino una forma de concebirla. Consiste en conocer su desempeño a partir de variaciones de su forma o posición para seleccionar las opciones más idóneas según las condiciones de operación de la fachada. De esto se desprende que una Fachada Variable puede comprender soluciones que van desde la ausencia de protección solar hasta soluciones mecanizadas, pasando por un amplio espectro de opciones escogidas en un proceso de diseño que comprende los atributos de desempeño.

## **AGRADECIMIENTOS**

Esta investigación ha sido realizada con financiamiento del Consejo Nacional de Investigación Científica y Tecnológica de Chile (CONICYT) a través de FONDEF IDEA ID1510425 "Fachada Variable: Solución de fachada dinámica en base a patrones

## REFERENCIAS

- ASTE, Niccolò; SINGH ADHIKARI, Rajendra; DEL PERO, Claudio. "An Algorithm for Designing Dynamic Solar Shading System". *Solar Energy* 30 (2012): 1079–89.
- AHN, Ki-Uhn; KIM, D. W.; PARK, C. S.; DE WILDE, P. "Predictability of occupant presence and performance gap in building energy simulation". *Applied Energy*, vol. 208 (2017): 1639–1652.
- BASTIEN, D.; ATHIENITIS, A. K. "Control strategy for thermal screens in greenhouses: an algorithm based on heat balance". *Acta Horti*. 952 (2012): 501–507
- CALI D. et al. "Energy performance gap in refurbished German dwellings: Lesson learned from a field test". *Energy and Buildings* 127 (2016): 1146–1158
- DE WILDE, P. "The gap between predicted and measured energy performance of buildings: A framework for investigation". *Automation in Construction* 41 (2014): 40–49
- FAVOINO, Fabio; JIN, Qian; OVEREND, Mauro. "Towards an Ideal Adaptive Glazed Façade for Office Buildings". *Energy Procedia* 62 (2014): 289–98.
- FAVOINO, Fabio; GOIA, Francesco; PERINO, Marco; SERRA, Valentina. "Experimental Analysis of the Energy Performance of an ACTIVE, RESPONSIVE and SOLAR (ACTRESS) Façade Module". *Solar Energy* 133 (August 2016): 226–248.
- GELETKA V, SEDLÁKOVÁ A. "Shape of buildings and energy consumption". *Technical Transactions* 3 (109): 123–129.
- GOIA, Francesco; CASCONE, Ylenia. "The Impact of an Ideal Dynamic Building Envelope on the Energy Performance of Low Energy Office Buildings". *Energy Procedia* 58 (2014): 185–92.
- GRANADEIRO et al. "Building envelope shape design in early stages of the design process: Integrating architectural design systems and energy simulation". *Automation in Construction* 32 (2013): 196–209
- HERRANDO M. et al. "Energy Performance Certification of Faculty Buildings in Spain: The gap between estimated and real energy consumption". *Energy Conversion and Management* 125 (2016): 141–153
- KNAACK, Ulrich; KLEIN, Tillmann; BILOW, Marcel; AUER, Thomas. *Façades: Principles of Construction*. Basel: Birkhäuser, 2007.
- LOONEN, R.; TRČKA, M.; CÓSTOLA, D.; HENSEN, J. L. "Climate Adaptive Building Shells: State-of-the-Art and Future Challenges". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 25 (September 2013): 483–93.
- MARSHALL, A. et al. "Domestic building fabric performance: Closing the gap between their situ measured and modelled performance". *Energy and Building*, 150 (2017): 3017–317,
- MENEZES, A. et al. "Predicted vs. actual energy performance of non-domestic buildings: Using post-occupancy evaluation data to reduce the performance gap". *Applied Energy*, 97 (2012): 355–364
- METTANANT, Vichuda; CHAIWIWATWORAKUL, Pipat. "Automated Vertical Blinds for Daylighting in Tropical Region". *Energy Procedia* 52 (2014): 278–86.
- NEGENDAHL, K. "Building performance simulation in the early design stage: An introduction to integrated dynamic models". *Automation in Construction* 54 (2015) 39–53
- VÁSQUEZ, Claudio; ENCINAS, Felipe; D'ALENÇON, Renato. "Edificios de Oficinas En Santiago: ¿Qué Estamos Haciendo Desde El Punto de Vista Del Consumo Energético?" *ARQ* 89 (April 2015): 50–61.
- WIGGINTON, Michael; HARRIS, Jude. *Intelligent Skins*. Oxford [u.a.]: Butterworth-Heinemann, 2002.
- XU, Xu; VAN DESSEL, Steven. "Evaluation of a Prototype Active Building Envelope Window-System." *Energy and Buildings* 40, no. 2 (2008): 168–74.

#### IMÁGENES

**FIG. 01** Comparación estacional de la exposición a la radiación solar en la fachada de un edificio de oficinas en Santiago.

Fuente: dibujo de Pedro Pablo de la Barra

**FIG. 02** Comparación de la transmisión solar y lumínica de dos prototipos orientados al norte en un día claro. (a) sin protección solar; (b) con protección solar.

Fuente: elaboración propia

**FIG. 03** Comparación de la transmisión solar (a) y lumínica (b) de una celosía horizontal de madera orientada hacia el norte.

Fuente: mediciones experimentales desarrolladas en el Laboratorio de Protecciones Solares (Lapso), Campus Lo Contador, UC. Elaboración propia

**FIG. 04** Edificio Transoceánica. + arquitectos. Santiago de Chile (2010).

Fuente: + arquitectos

**FIG. 05** Edificio Corporativo Banco ITAU, Estudio Leyton, Arquitectos. Santiago de Chile (2009).

Fuente: Google Streetview

**FIG. 06** Laboratorio de Protecciones Solares (LAPSO). Campus lo Contador, UC.

Fuente: fotografía de los autores