

SISTEMAS DE CONTROL SOLAR Y SUS IMPLICACIONES EN EDIFICIOS DE OFICINAS UBICADOS EN CLIMA TROPICAL HÚMEDO

Verónica Prado

VI Especialización en Desarrollo Tecnológico de la Construcción,
Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción,
Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela
veroprado.arq@gmail.com

Ernesto Lorenzo

Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción,
Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Central de Venezuela
ernestolorenzor@gmail.com

RESUMEN

El artículo presenta avances parciales de un trabajo especial de grado que se desarrolla actualmente en el IDEC, con la finalidad de demostrar, con base en una revisión sistemática de las experiencias de diseño sostenible más relevantes a nivel nacional e internacional, cuáles son las repercusiones en la demanda energética por climatización artificial, una vez implementados sistemas de control solar en edificios de oficinas en clima tropical húmedo. Como aporte se presenta el estudio de un edificio sede de Conatel, ubicado en Las Mercedes, Caracas, a través de simulaciones obtenidas con el programa Ecotect, el cual es un software especializado en la evaluación de proyectos sostenibles, donde se logró realizar un análisis comparativo entre los distintos sistemas de protección solar contemplados en el estudio, cotejando sus repercusiones en cuanto a la iluminación natural en los espacios de oficinas y la disminución de la radiación solar en los cerramientos acristalados que conforman las fachadas.

Palabras clave: control solar, diseño de envolvente, ahorro energético, arquitectura sostenible, oficinas verdes.

INTRODUCCIÓN

Al estudiar el contexto energético mundial y sus repercusiones, destaca el enorme impacto ambiental a causa de la combustión de combustibles fósiles para la generación de energía, en especial la creciente concentración de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera terrestre, que conlleva el calentamiento global, considerado como la principal amenaza del planeta en la actualidad (IPCC, 2007).

En este sentido, las edificaciones juegan un papel preponderante al ser grandes consumidoras de energía. De toda la energía consumida a nivel mundial que puede ser relacionada con las emisiones de CO₂ a la atmósfera, las edificaciones consumen entre 25% y 30%, lo que las responsabiliza de 19% a 22% de todas las emisiones de CO₂ antropogénicas. Por tal motivo se podría afirmar que las edificaciones tienen una contribución neta que oscila entre el 10% y 12% en cuanto al cambio climático (Wiel et al., 1998).

Solo por concepto de climatización en edificaciones se estima una demanda de 6,5% de la energía total consumida en el mundo anualmente, sin embargo, algunas investigaciones han demostrado que con la simple ejecución de un diseño adaptado al clima de manera adecuada, es posible llevar dicha cifra a 2,35% (Santamouriset al., 1997). Es por esto que en la actualidad se realizan numerosos estudios relacionados con los aspectos de confort climático, a la par de buscar reducir el consumo energético por concepto de climatización, mediante la utilización de mecanismos de bajo consumo energético y reducido impacto ambiental, sin que esto signifique abandonar el nivel de vida actual ni retornar a esquemas menos evolucionados que menoscaben el logro de las condiciones mínimas de habitabilidad en las edificaciones.

Dentro del sector de las edificaciones se observa con particular interés, en el ámbito de las tipologías arquitectónicas no residenciales, el elevado consumo energético de los edificios de oficinas y su relación con el empleo de sistemas de aire acondicionado como principal alternativa de climatización, según un estudio realizado en el año 2011 por el Buildings Performance Institute Europe (BPIE), en el cual se presenta una revisión exhaustiva del consumo energético de los edificios en los países miembro de la Unión Europea, concluyendo que los edificios de oficinas se ubican como el segundo mayor consumidor de energía en toda la región, datos que coinciden estadísticamente a nivel mundial y en distintas latitudes.

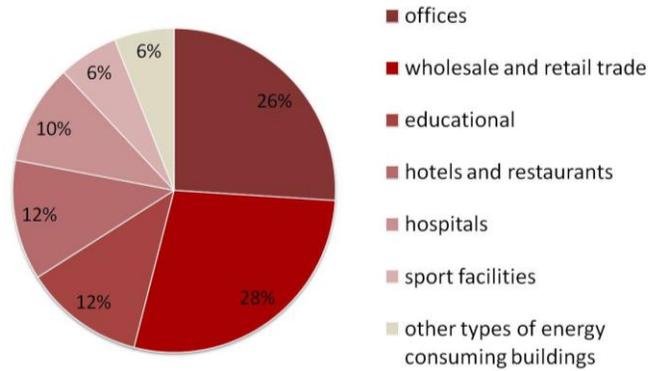


Figura 1. Porcentaje de uso total de energía en edificios no residenciales de la Unión Europea (año 2011)

Fuente: Buildings Performance Institute Europe, BPIE.

Asimismo, y una vez que se profundiza en el consumo sectorizado de la energía en un edificio de oficinas, en especial en países tropicales como el nuestro, el mayor porcentaje suele estar asociado a los sistemas de aire acondicionado, llegando a ser este el responsable del 46% del total de la energía consumida (Siem et al., 2004).

Por lo tanto, el propósito del trabajo es demostrar cuáles son las implicaciones del correcto diseño de protecciones solares en edificios de oficinas en el trópico húmedo, específicamente en cuanto a la disminución de las cargas térmicas que deberán vencer los equipos de aire acondicionado tradicionales, y cómo esto repercute directamente en la disminución del consumo energético de la edificación, por lo que, si se lograra su aplicación masiva, la simple consideración de esta estrategia en las edificaciones podría repercutir en un cambio en la matriz energética nacional, así como en las emisiones de CO₂ antropogénicas, garantizando a su vez las condiciones óptimas de habitabilidad en las edificaciones que, en definitiva, contribuirá al logro de un arquitectura sostenible en el país.

CASO DE ESTUDIO

La selección del caso de estudio responde a que desde el año 2009 se agudizó la crisis energética nacional, lo que conllevó el establecimiento de medidas por parte del Estado para la reducción del consumo energético en entes gubernamentales y privados. Esto trajo como consecuencia que de manera generalizada se tomaran decisiones en respuesta exclusivamente a la necesidad de reducir el consumo energético de las edificaciones, en detrimento de las condiciones mínimas de habitabilidad de los usuarios y de la propia productividad de las empresas.

En ese sentido, la sede principal de Conatel, ubicada en la urbanización Las Mercedes del municipio Baruta del estado Miranda, se vio afectada por la imposición de distintas medidas como la reducción de los horarios de trabajo y restricciones en el uso de los ascensores y equipos de climatización, entre otras. Todo esto como respuesta inmediateista al problema, por lo que se carece de un estudio que identifique cuáles son las posibilidades reales de ahorro que presenta la edificación desde el punto de vista arquitectónico, así como un plan para su aplicación progresiva.

El edificio fue construido en el año 1989, y cuenta con 10 pisos, entre ellos una planta baja de atención al cliente, un nivel de mezzanina con aulas y salones de conferencias de uso común, seis (06) plantas tipo con esquema de plantas libres con 442.26 m² cada una para el uso exclusivo de oficinas, un nivel de oficinas gerenciales y un último piso dedicado a las oficinas de dirección de la institución.

Está emplazado en la parcela, con una orientación que varía en 1,08° con respecto al norte. El edificio consta de un volumen único con forma de prisma recto dispuesto en sentido longitudinal a lo largo de la parcela, orientando sus caras más angostas en sentido norte-sur y sus caras más anchas en sentido este-oeste, y un volumen de servicios adosado hacia la fachada oeste, que consta de una superficie ondulada revestida en tablilla de arcilla natural y vanos con bloques de ventilación del mismo material.



Figura 2. Torre de oficinas, sede Conatel Las Mercedes, Caracas

CÁLCULO, DISEÑO Y SIMULACIÓN DE PROTECCIONES SOLARES

Se inició con la identificación y tipificación de los componentes de ventana, lo que permitió clasificar las diferentes alternativas de control solar para cada caso, así como también desarrollar una estructura modular adaptada a los componentes existentes en fachadas (cuadro 1).

Cuadro 1. Clasificación de componentes de ventana

FACHADA SUR				
Nº	COMPONENTE	UBICACIÓN	DIMENSIONES	REQUERIMIENTO DE CONTROL SOLAR
1	Muro-cortina	Pisos 1 al 5	7,51 x 3,42 m	Sí
2	Muro-cortina	Piso 6	4,70 x 3,42 m	Sí
3	Ventana proyectante	Pisos 1 al 6	2,00 x 2,00 m	Sí
4	Ventana recedida	Piso 7	2,00 x 2,00 m	No

FACHADA NORTE				
Nº	COMPONENTE	UBICACIÓN	DIMENSIONES	REQUERIMIENTO DE CONTROL SOLAR
1	Muro-cortina	Pisos 1 al 6	5,65 x 3,42 m	Sí
2	Ventana recedida	Piso 7	2,00 x 2,00 m	No

FACHADA ESTE				
Nº	COMPONENTE	UBICACIÓN	DIMENSIONES	REQUERIMIENTO DE CONTROL SOLAR
1	Muro-cortina	Pisos 1 al 7	1,20 x 3,35 m	Sí
2	Ventana proyectante	Pisos 1 al 7	2,00 x 2,00 m	Sí
3	Ventana recedida	Piso 7	2,00 x 2,00 m	No

FACHADA OESTE				
Nº	COMPONENTE	UBICACIÓN	DIMENSIONES	REQUERIMIENTO DE CONTROL SOLAR
1	Ventana proyectante	Pisos 1 al 7	2,00 x 2,00 m	Sí
2	Ventanas recedidas Servicios	Pisos 1 al 7	1,04 x 2,30 m c/u	No
3	Ventanas recedidas Oficinas	Pisos 1 al 7	1,04 x 2,30 m c/u	No

Fuente: Elaboración propia.

169

De acuerdo con los componentes identificados en las diferentes fachadas, se determinaron los siguientes criterios para el diseño de parasoles:

- Priorizar la intervención de control solar para proteger de la radiación los componentes que cuenten con el mayor porcentaje de superficie en cada fachada.
- Diseñar los elementos de control solar en función de la fecha más desfavorable de soleamiento para cada fachada, según su orientación.
- Calcular las dimensiones de los parasoles utilizando el método de ángulos de sombreado.
- Evitar la modificación de los cerramientos existentes.
- Evitar el bloqueo de la vistas de manera permanente.
- Evitar el bloqueo de la movilidad de los componentes de ventanas existentes en caso de que la posean.
- Realizar la coordinación modular con respecto al formato de los componentes que conforman el cerramiento existente (muro-cortina, ventanas proyectantes, etc.).

Cumpliendo estos requerimientos, se plantean varias alternativas para el diseño de los parasoles, que se agruparon según el componente de ventana a proteger y evidentemente según su orientación. En el caso de las fachadas norte y sur, en vista de que el muro cortina o fachada acristalada ocupa la mayor superficie con respecto al resto de vanos y ventanas identificadas, se decidió realizar una propuesta de control solar para los mismos, conservando las ventanas proyectantes en su estado original. En este sentido, se estudiaron tres opciones de control solar para estas fachadas (figura 3).

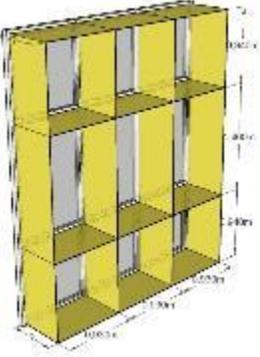
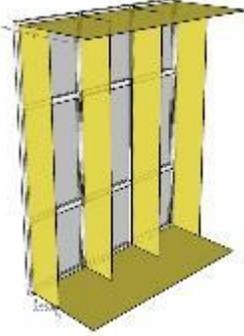
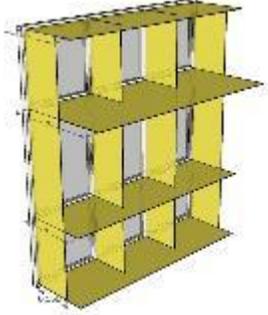
FACHADAS NORTE Y SUR		
OPCIÓN1	OPCIÓN2	OPCIÓN3
		
Componentes verticales y horizontales de igual dimensión	Componentes verticales con ancho fijo de 0,55 m y componentes horizontales cada 3,14 m (altura de entrepiso)	Componentes verticales con ancho fijo de 0,55 m y componentes horizontales dispuestos según formato del muro cortina

Figura 3. Opciones preliminares de control solar en fachadas norte y sur
Fuente: Elaboración propia.

En la fachada este se encuentran dos elementos que requieren protección solar, las ventanas proyectantes y las secciones de 1,20 m de muro-cortina dispuestas verticalmente en cada extremo de la fachada, no obstante, proporcionalmente ocupan mayor superficie acristalada las ventanas proyectantes, por lo cual la propuesta estará dirigida a estos componentes. La misma situación ocurre en la fachada oeste, con la particularidad de que en este caso el volumen de servicios adosado a la misma impide que la radiación solar se transmita directamente hacia los ambientes de oficina, quedando dos hileras de ventanas proyectantes que influyen directamente en los espacios de oficinas y que requieren una intervención.

En el caso de la fachadas este y oeste, por tratarse de planos que reciben radiación solar perpendicularmente, una durante las horas del día (fachada este) y la otra durante horas de la tarde (fachada oeste), es necesario contemplar dentro de la propuesta opciones con componentes móviles que a través de mecanismos sencillos permitan a sus usuarios no solo controlar el paso de iluminación y radiación solar en horarios requeridos, sino también evitar el bloqueo de las visuales de manera permanente. En este sentido, se estudiaron cuatro opciones de control solar para estas fachadas (figura 4).

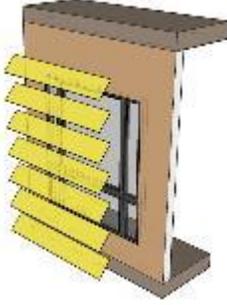
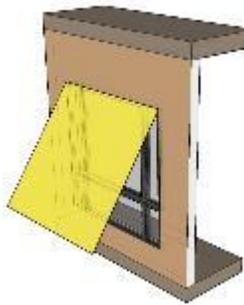
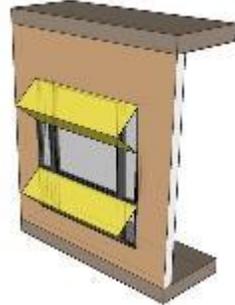
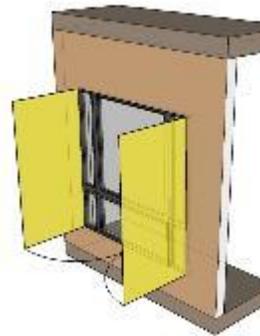
FACHADAS ESTE Y OESTE			
OPCIÓN1	OPCIÓN2	OPCIÓN3	OPCIÓN4
			
Componente tipo persiana móvil	Componente tipo toldo retráctil	Componente plegable horizontal o vertical	Componente abatible

Figura 4. Opciones preliminares de control solar en fachadas este y oeste
Fuente: Elaboración propia.

Una vez propuestas las opciones de protección solar para cada orientación de fachada, se procedió a realizar su dimensionado a través del método de ángulos de sombreado, el cual consiste en utilizar como datos principales los ángulos de incidencia solar. Se consideran las orientaciones de las fachadas y en función de las mismas se escoge la fecha y hora más desfavorable. Si el elemento de sombreado logra proyectar la sombra deseada durante ese día y a esa hora específica para proteger de la radiación solar, el plano de la ventana se considera será efectivo el resto del año.

171

El cálculo de los parasoles para la fachada norte se realizó tomando como ángulo vertical de sombreado (AVS) los datos del día 21 de junio a las 10:15 am, mientras que para la fachada sur se hizo referencia al 21 de diciembre a las 10:30 am, ambas consideradas la fecha y hora más desfavorables para el análisis.

Una vez obtenidas las dimensiones de los parasoles, se procede a comparar los mismos en función de los criterios de diseño establecidos inicialmente, y se seleccionan aquellas alternativas que dieron como resultado componentes con dimensiones manejables, con el propósito de ahorrar materiales y facilitar su elaboración, así como también simplificar y estandarizar el proceso de diseño e instalación.

En las fachadas norte y sur, la opción 1 (Componentes verticales y horizontales de igual dimensión) fue el que obtuvo mejores resultados desde el punto de vista constructivo, económico y de efectividad, no obstante, en vista de que los componentes de la fachada sur deben sobresalir al menos 1,10 m para garantizar un sombreado total el 100% del tiempo, se resuelve sacrificar el porcentaje de sombreado en pro de evitar complicaciones técnico-constructivas, lo que implica llevar el parasol de 1,10 m a 0,55 m con la finalidad de que esta medida no exceda la distancia comprendida entre el plano acristalado y el borde de mampostería en fachada. En este orden de ideas, para el caso de las orientaciones este y oeste se seleccionó la opción 1 (Componente tipo persiana móvil), (figura 5).

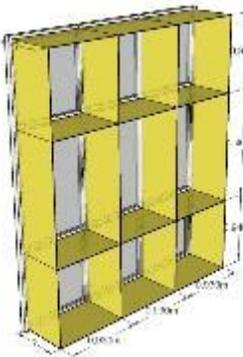
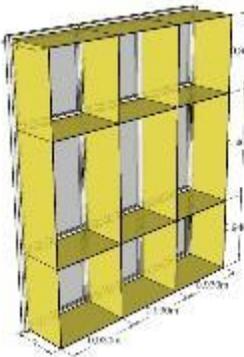
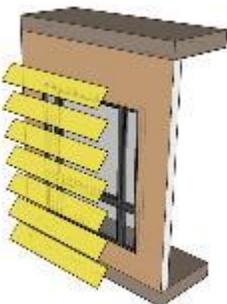
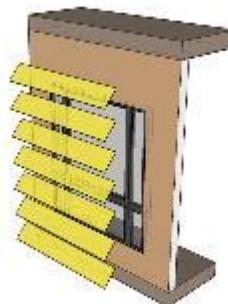
PROPUESTAS DE CONTROL SOLAR SELECCIONADAS			
FACHADA NORTE	FACHADA SUR	FACHADA ESTE	FACHADA OESTE
OPCIÓN 1	OPCIÓN 1	OPCIÓN 1	OPCIÓN 1
			
COMPONENTE A SOMBRLEAR			
CURTAIN WALL	CURTAIN WALL	VENTANA PROYECTANTE	VENTANA PROYECTANTE
DIMENSIONES			
Vertical = 0,45 m Horizontal = 0,45 m	Vertical = 0,55 m Horizontal = 0,55 m	0,30 m	0,32 m

Figura 5. Propuestas definitivas de control solar en fachadas
Fuente: Elaboración propia.

Premisas y consideraciones previas a la realización de las simulaciones

Para determinar la efectividad de los métodos de control solar escogidos, se realizaron varias comprobaciones utilizando el programa Ecotect. Inicialmente, se elaboró un modelo tridimensional de cada fachada y se analizaron los diagramas estereográficos de los planos acristalados donde fueron incorporados los parasoles propuestos, con la finalidad de obtener el coeficiente de sombreado, el cual representa la cantidad de superficie libre de radiación solar por espacio de tiempo en el lapso de un año. Este valor se expresa en porcentaje, en que 0 equivale a una superficie totalmente sombreada y 100 a una superficie con radiación solar directa.

Seguidamente se procede a realizar la evaluación de los niveles de iluminación natural de acuerdo con la distribución de lumen/m² (luxes) en los espacios de oficinas y, por último, a determinar la cantidad de energía que ingresa a los espacios producto de la incidencia solar absorbida por metro cuadrado de superficie acristalada en las fachadas del edificio, expresada en watt-hora (Wh).

Para evaluar los niveles de iluminación fue modelada una planta tipo de la edificación seleccionada como caso de estudio, con el fin de recrear las condiciones reales e incorporar todos aquellos elementos que influyan en la distribución de la iluminación natural en los espacios internos. Para ello se añadieron a la volumetría los materiales de los cerramientos y la ubicación de sus aberturas al nivel de fachadas, así como también los paneles o tabiques divisorios que forman parte del mobiliario. Entre los datos suministrados se encuentran las condiciones del

cielo, donde se especifica la distribución de la luz en toda la bóveda celeste, encontrándose entre estas cielo despejado, intermedio o nublado, el factor de limpieza de objetos de ventana debido a que afecta la transmisión de luz, para el cual se establecen tres alternativas, limpio, intermedio y sucio, y finalmente se incorpora la iluminación de diseño, que no es otra que la iluminación difusa en sitios despejados que es excedida el 85% del tiempo en el lapso comprendido entre las 9:00 am y las 05:00 pm.

En las simulaciones, el cálculo fue realizado partiendo de las opciones por defecto, para las cuales la componente celeste implementa los valores del cielo nublado, el factor de limpieza de ventanas es intermedio y la iluminación de diseño proviene de la data climática de la ciudad de Caracas, cuyo valor equivale a 10.000 lux. Para este estudio no fue necesario añadir lámparas, ya que el propósito es evaluar de qué manera se distribuye la iluminación natural en los espacios de oficina y cómo puede influir en la misma la propuesta de parasoles adoptada. Por su parte, para llevar a cabo el estudio de incidencia solar en los cerramientos acristalados de la “Sede Águila” de Conatel, se utilizaron los modelos realizados para el estudio de iluminación natural y se seleccionaron los planos de ventanas tipo en las diferentes fachadas, tanto en la arquitectura existente como en el modelo que cuenta con el sistema de parasoles, con la finalidad de comprobar si la incorporación de los mismos permite reducir la cantidad de energía que ingresa a los espacios internos a través de los cerramientos de vidrio producto de la incidencia solar.

Análisis de resultados

La efectividad del sistema de parasoles en el caso de estudio se cuantificó de varias maneras por medio de la interpretación de los gráficos y resultados provenientes de las simulaciones virtuales realizadas con el software Ecotect. Los resultados del estudio de coeficiente efectivo de sombreado revelan que para contrarrestar la radiación solar directa en ventanas no es necesario que los elementos de sombreado cubran toda de la superficie la totalidad del tiempo que estos reciben radiación. En la fachada norte se obtuvo un coeficiente efectivo de sombreado promedio anual de 1,7%, la fachada sur obtuvo un coeficiente de 6,1%, mientras que en las fachadas este y oeste este valor asciende a 15,2%. Esto quiere decir que solo durante estos porcentajes de tiempo comprendidos en el lapso de un año, el plano de la fachada a proteger recibirá incidencia solar (figura 6).

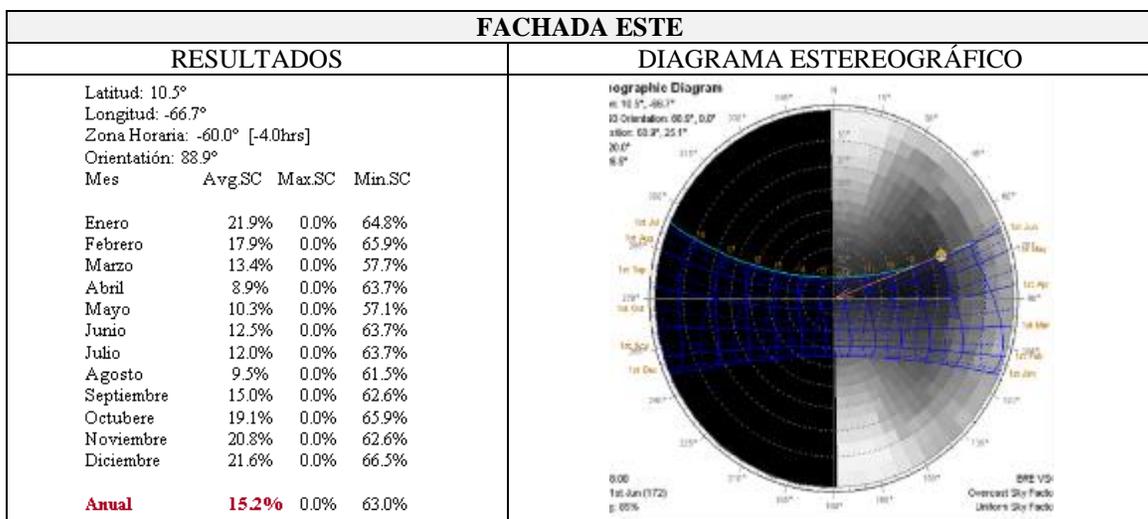
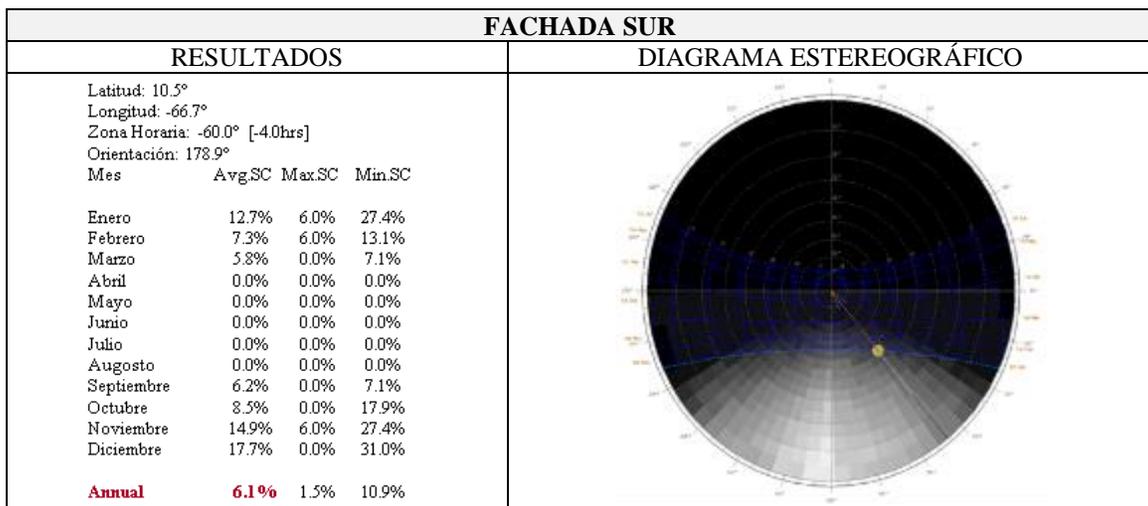
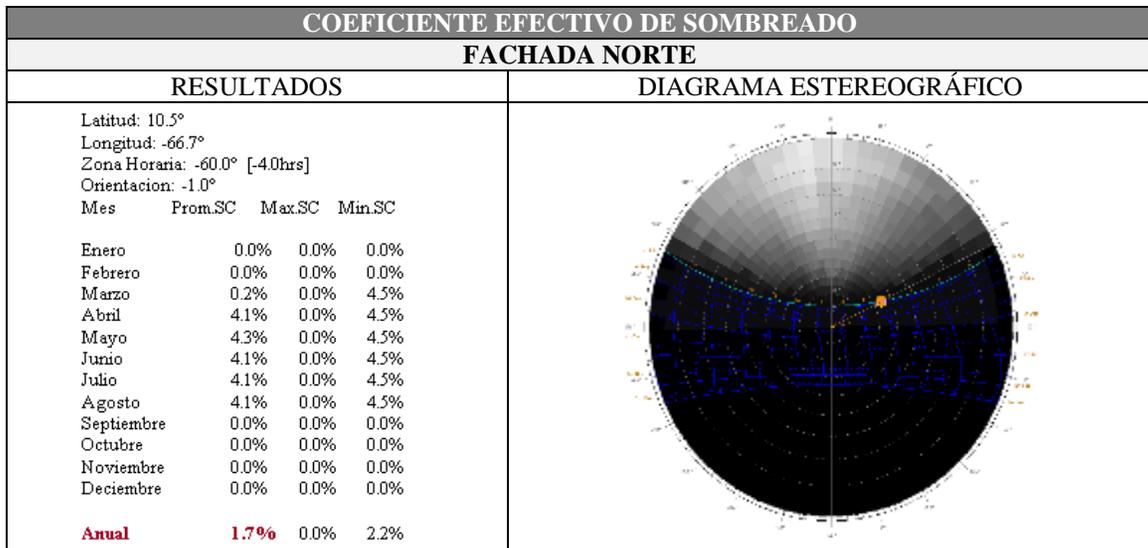


Figura 6. Diagramas de sombreado en fachadas con protecciones solares propuestas
Fuente: Elaboración propia.

Para determinar el impacto de la implementación del sistema de control solar en cuanto a la distribución de la iluminación natural en los espacios internos, se compararon los gráficos entre la arquitectura existente frente a la propuesta (figura 7).

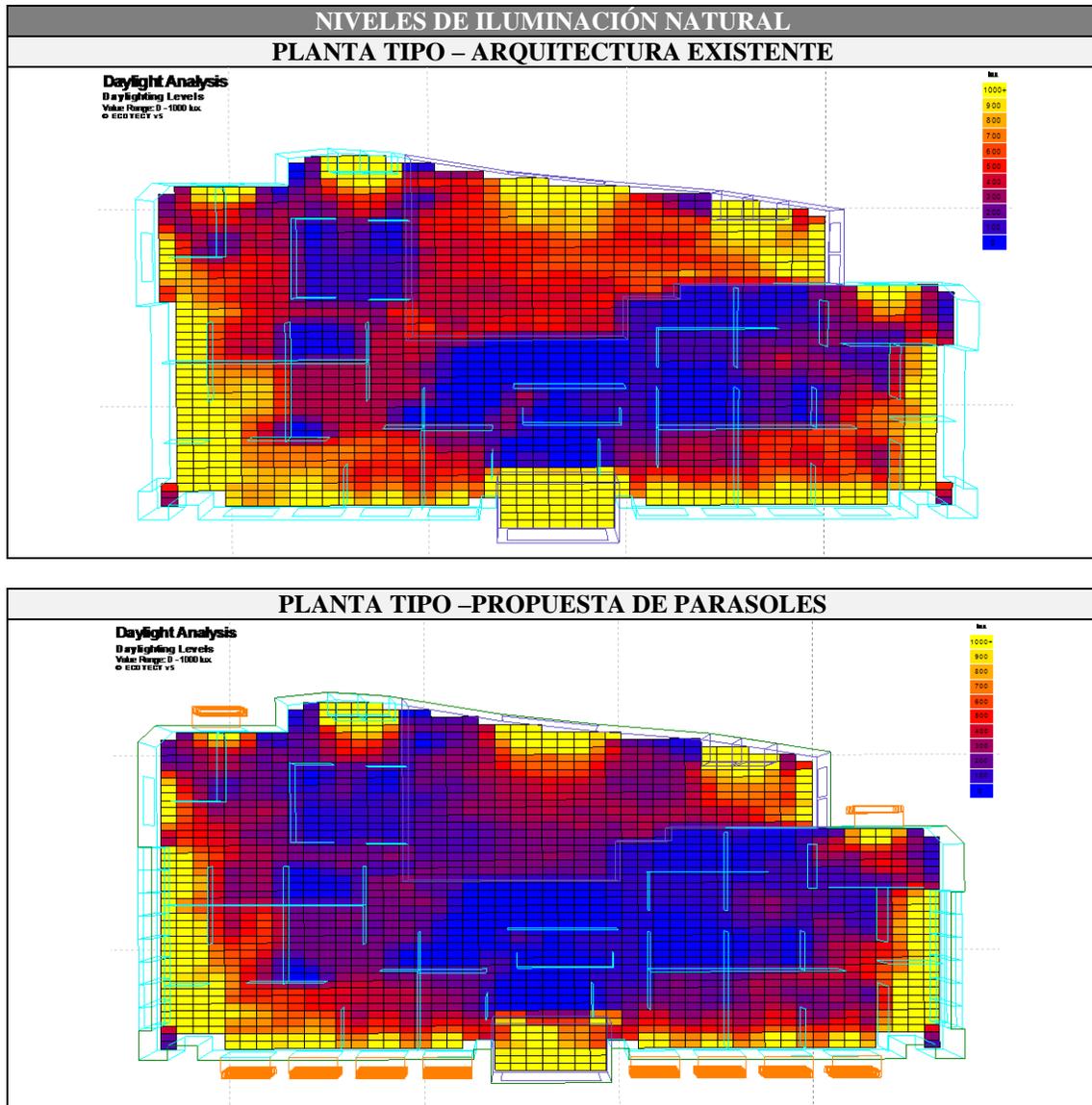


Figura 7. Diagramas de sombreado en fachadas con protecciones solares propuestas
Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la figura 7, el gráfico correspondiente a la arquitectura existente obtiene una iluminación natural con rangos entre 800 y 1.000 luxes en todo el perímetro de la planta tipo, mientras en el gráfico que muestra la incorporación de protecciones solares, el nivel de iluminación natural se reduce cerca de 40%.

En cuanto al estudio de incidencia solar en cerramientos de vidrio, se realizó por medio de la comparación de los datos obtenidos de las simulaciones entre la arquitectura existente y la propuesta de control solar. Fundamentalmente, se trata de verificar qué porcentajes de reducción

fue posible obtener en cuanto a la incidencia de radiación solar en componentes de ventana y la absorptividad de la misma al interior de los espacios de oficina, lo cual se traduce en la reducción efectiva de las cargas térmicas y, por consiguiente, la reducción del consumo energético por climatización. Cada gráfico muestra 12 columnas correspondientes a cada mes del año en el eje “X”, y 24 filas distribuidas en el eje “Y” para identificar el total de horas de un día; la escala gráfica está expresada en Wh/m² (figura 8).

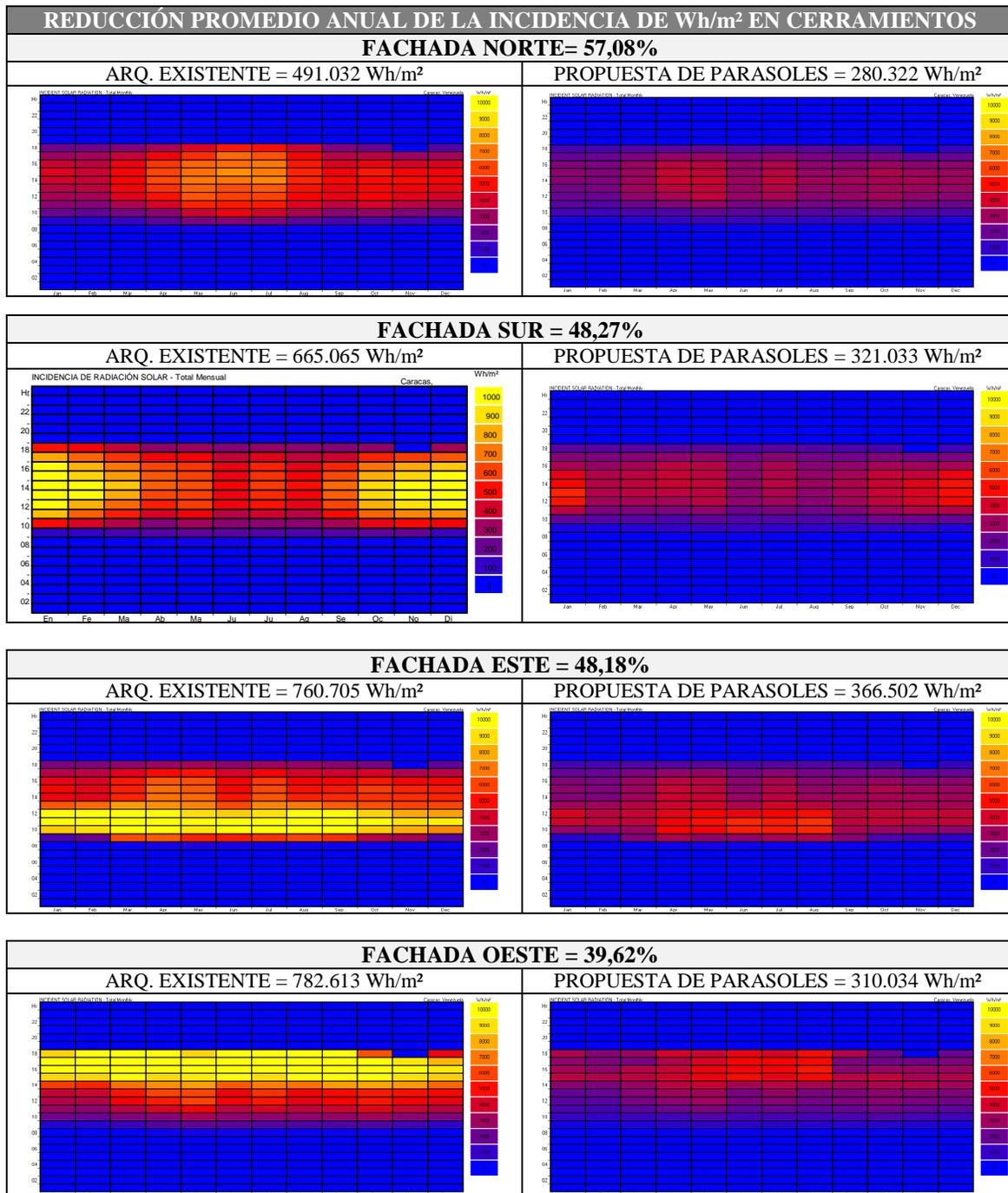


Figura 8. Incidencia solar en fachadas
Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en la figura 8, la implementación de las protecciones solares permitió la reducción de la incidencia solar de manera significativa. En la fachada norte, durante el período de mayor incidencia solar, se obtuvo una reducción de 57,08%; en la fachada sur una reducción de 48,27%; en la fachada este 48,18%, mientras que en la fachada oeste se obtiene una disminución de 39,62%.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De manera generalizada, y en especial en países de clima tropical, el refrescamiento de los edificios de oficina ha sido delegado casi de manera exclusiva a los sistemas activos de climatización. Estos dispositivos implican grandes inversiones no solo debido al costo inicial de los componentes y equipos, sino también debido al elevado consumo energético durante su uso.

Por otra parte, las características constructivas de los edificios de oficina, en general, no contribuyen a mejorar esta situación, por el contrario, al hacer uso indiscriminado de ciertos materiales y tecnologías, así como desconocer las condiciones climáticas de la región, comprometen la calidad ambiental de los espacios, lo que se traduce en un menor rendimiento de los equipos de aire acondicionado y un mayor consumo energético.

En ese sentido, los sistemas de control solar se presentan como una alternativa válida, aportando de manera significativa en la reducción de las cargas térmicas de las edificaciones. Aunque lo ideal es que estas se incorporen desde el proceso de conceptualización, estos sistemas son factibles de aplicar luego de la construcción del edificio, ayudando a solventar problemas donde la transferencia de calor a través de los cerramientos sea excesiva, como ocurre generalmente en fachadas acristaladas o muros cortina empleados comúnmente en la tipología de oficinas.

Asimismo, del estudio se desprenden ciertas recomendaciones en cuanto al empleo de sistemas de control solar en edificios de oficinas, así como también las ventajas de su utilización:

- La instalación de parasoles en fachadas modifica y reduce los niveles de iluminación natural en los espacios de oficinas, con lo cual su uso requiere un estudio previo de las condiciones espaciales para evitar causar un impacto negativo.
- Los parasoles pueden ser complementados incorporando a su diseño otras estrategias pasivas, como repisas reflectantes, para mejorar el alcance y optimizar la distribución de la iluminación natural en el interior de las oficinas, lo que permitirá reducir la demanda de iluminación artificial y, en consecuencia, el consumo eléctrico.
- El uso de parasoles como estrategia de control solar, reduce la cantidad de calor que ingresa a los espacios a través de los cerramientos acristalados, lo cual conlleva una reducción en la demanda de enfriamiento de equipos de aire acondicionado y, por ende, una disminución del consumo energético.

REFERENCIAS

- Bélgica. Buildings Performance Institute Europe –BPIE. (2011). Europe’s buildings under the microscope. A country-by-country review of the energy performance of buildings. Bruselas: Buildings Performance Institute Europe (BPIE). Disponible en: http://www.bpie.eu/country_review.html
- IPCC. (2007). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, Suiza.
- Santamouris, M. y Asimakopoulos, D. (1997). *Passive cooling of buildings*. Londres-Inglaterra: James & James Science Publishers.
- Siem, G., Sosa, M.E. y Hobaica, M.E. (2004). *Manual de Diseño para Edificaciones Energéticamente Eficientes*. Caracas-Venezuela: Fonacit-IDECA-FAU-UCV.
- Wiel, S; Martin, N.; Levine, M.; Pri, L. y Sathaye, J. (1998). The role of building energy efficiency in managing atmospheric carbon dioxide. *Environmental Science & Policy*, 1, pp. 28-29.