

FACHADAS DE DOBLE PIEL Y OPTIMIZACIÓN DEL CONTROL SOLAR. EDIFICIO DE AULAS EN MEDELLÍN, COLOMBIA

Jorge Hernán Salazar Trujillo

Profesor Asociado. Facultad de Arquitectura. Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín.
Calle 35 # 76-56 apartamento 102 Medellín, COLOMBIA. Tel. 57-4-5114656, fax 2604875
e-mail:jhsalaza@unal.edu.co

RESUMEN

Los quebrasoles son dispositivos antepuestos a las fachadas de forma que sus sombras se proyecten sobre los vanos. La optimización del control solar es la técnica que permite no proyectar más sombra de la necesaria y asegurar que dicha sombra se proyecte en el punto y momento requerido. No obstante, hay un caso que exige una técnica de optimización solar particular: los sistemas de fachada de doble piel. Un edificio con este tipo de envolvente tiene una primera capa, de adentro hacia fuera, que alberga las ventanas, mientras una segunda capa, versión similar a la primera, posee una desalineación intencional de modo que los vanos no coincidan. Los desfases entre las pieles permiten obstruir los rayos solares indeseados y si se trata de una fachada con una orientación especialmente desfavorable, el desfase tendrá que ser tan grande que la iluminación llegará principalmente por reflexión entre ambas pieles. El procedimiento para determinar la distribución de aberturas y el desfase óptimo entre pieles fue desarrollado para diseñar las fachadas de un Edificio de Aulas en la Universidad Pontificia Bolivariana en Medellín y que se presenta aquí como Caso de Estudio.

ABSTRACT

Shading Devices are put in front to the facades so that their shades project on the windows. The optimization of the shades avoids to project more shade than the necessary, assuring that the shade casts on the place and moment at which it is required. However, there is a case that demands a particular technique to achieve the solar optimization: the double skin façade system. A building with this type of envelope has one first layer, from inside to outside, that it lodges the windows, while the second layer, version similar to the first, it has an intentional misalignment so that the openings of both layers do not meet. This misalignment allows obstructing undesired solar rays and if there is a especially unfavorable orientation, the misalignment will have to be so great that the natural lightning will depend of the reflection between both skins. The procedures to determine the distribution of openings and the optimal relation between skins were developed to design the facades of a classroom building in Medellín, shown here as a Study Case.

1. INTRODUCCIÓN

Dimensionar dispositivos de fachada para la protección solar es una tarea de mediana complejidad si se aborda de manera aislada. Una vez se definen con claridad los intervalos en los que la radiación solar directa será considera como inadecuada, el cálculo de un dispositivo de sombra es una labor geométrica que se puede realizar utilizando apenas un diagrama solar. No obstante, en cuanto se involucran otros fenómenos que también se ven afectados por una eventual modificación en el diseño de la fachada, el asunto deja de pertenecer al dominio de la geometría y se comienzan a requerir

técnicas adicionales. Al evaluar las implicaciones sobre el ambiente interior que se derivan de cualquier dispositivo de control solar, se concluye que la sombra siempre se obtiene a costa de disminuir las posibilidades de aprovechamiento lumínico. Simétricamente, la iluminación natural siempre se logra a costa de permitir una mayor visibilidad hacia la bóveda celeste, lo que finalmente deriva en una mayor probabilidad de incursión solar en el espacio, con las implicaciones energéticas, de bienestar térmico y de ergonomía visual que esto ocasiona.

La optimización del control solar es una técnica que permite superar el esquema tradicional, en el cual una de las dos variables, o la iluminación o la incursión solar, termina subordinada a la otra, que es lo que regularmente ocurre. Si en un proyecto la variable subordinante es la necesidad de iluminación natural, entonces la incursión solar terminará siendo una resultante inesperada de un diseño de ventanas que propicia la mayor captación de luz. En el caso contrario, si la variable subordinante es la necesidad de control solar, la iluminación natural terminará siendo la consecuencia del tipo de fachada y sus posibles componentes.

Desde el enfoque de la optimización el diseño de fachadas obliga a trabajar de manera simultánea ambas variables, para que en el proceso de toma de decisión no se sacrifiquen inadvertidamente componentes ambientales que dentro de ciertos rangos de tolerancia, pueden coexistir en un proyecto.



Figura 1. Fachada oriental del edificio de aulas de la Facultad de Ingenierías de la UPB en Medellín. Dieciséis aulas, cuatro por piso, que se iluminan y ventilan exclusivamente por sus fachadas oriental y occidental.

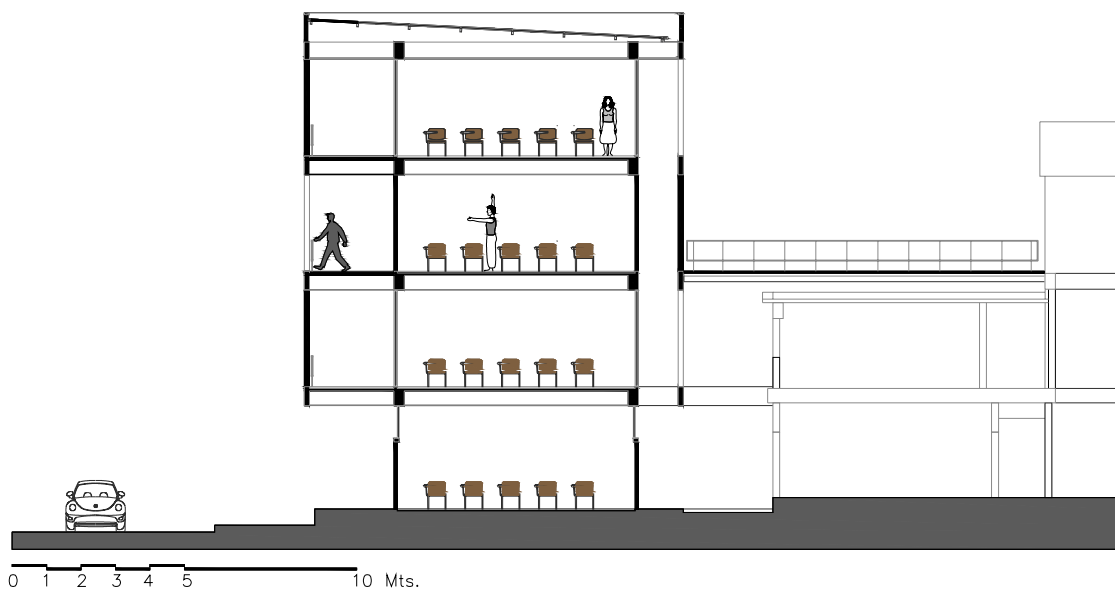


Figura 2. Sección transversal. Fachada oriental y pasillo de acceso a las aulas a la derecha. A la derecha puente de conexión con el edificio antiguo.

Cada encargo profesional tiene implícita una combinación sol-luz que la mayor parte de los usuarios considerará como adecuada. El propósito es optimizar una relación funcional entre estas dos variables, sintonizando el sistema de envolventes arquitectónicas para que las relaciones de compromiso entre la accesibilidad solar y el aprovechamiento lumínico sean debidamente satisfechas. Nunca se ha observado que los límites del espectro: el exceso de sombra y el exceso de luz, sean los puntos que más favorecen la calidad ambiental del proyecto.

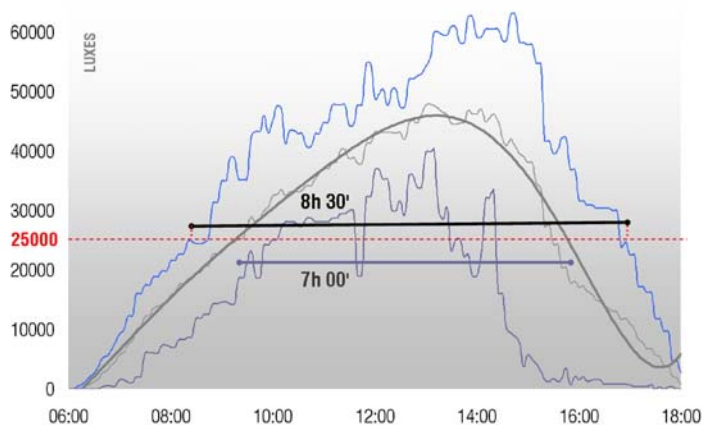
El objetivo de este trabajo es presentar el procedimiento que ayudó a determinar la combinación óptima de la función sol-luz en un edificio de aulas. Es una tarea que necesariamente consulta el clima, el contexto, la utilización del espacio y la orientación de cada una de las fachadas, razón por la cual no es viable definir una secuencia de actividades precisa con la esperanza de que siempre conduzca a la mejor solución. Por el contrario, cada circunstancia concreta reclama ajustes al esquema de trabajo aquí propuesto.

Para poner en contexto la propuesta metodológica, todos los estudios e imágenes se referirán al nuevo edificio para aulas de la Facultad de Ingenierías de la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB), proyecto del arquitecto Alejandro Restrepo que contó con la asesoría ambiental de Salazar, García, González, Arquitectos. El edificio, construido en el año 2005, se ubica en Medellín, Colombia, una ciudad ubicada a 6.25 grados de latitud norte y a 1500 metros sobre el nivel del mar. La ciudad presenta vientos predominantes del norte, especialmente durante las tardes soleadas y un promedio anual de temperatura y humedad relativa de 24°C y 60% respectivamente. Durante muchas horas al día las condiciones climáticas permanecen en la zona de confort, registrándose en algunas tardes especialmente calurosas temperaturas que no superan los 33°C, razón por la cual se le conoce como la “Ciudad de la Eterna Primavera”.

2. APROVECHAMIENTO LUMÍNICO

Regularmente los niveles de iluminación natural están en relación directa con la visibilidad que hacia la bóveda celeste tiene cada sector de recinto. La búsqueda por maximizar esta visibilidad conduce a vanos grandes, dinteles altos, espacios poco profundos, supresión de elementos exteriores que podrían impedir visuales lejanas y en especial, fachadas completamente lisas. Sin embargo, regularmente la sobreiluminación no resulta ser la mejor opción, dado que por encima de cierto umbral, más luz no se corresponde con una mejor visión. Los espacios arquitectónicos se iluminan con la intención de que en su interior se pueda ver, entonces el principio rector de la iluminación natural es lo que los procesos fisiológicos de la visión reclaman. Esto conduce directamente al tema de la ergonomía visual.

En la ergonomía visual se consideran principalmente tres aspectos: el umbral de iluminación mínimo óptimo, la uniformidad de iluminancias y el control de deslumbramientos. Los tres están íntimamente relacionados y nunca se trabajan por separado, pero simplificando se puede afirmar que el primero de ellos corresponde a la iluminancia necesaria para desarrollar una tarea con un nivel de exigencia visual específico. La iluminancia mínima, un valor absoluto establecido por la norma de Salud Ocupacional



Figuras 3 y 4. Disponibilidad del recurso lumínico en la bóveda occidental calculado mediante registros de iluminancia obtenidos en el sitio. A la derecha modelo reducido con el que se midieron los factores de distribución lumínica ante diferentes condiciones de cielo.

de cada país, tiene implicaciones directas sobre la relación llenos/vacíos y la reflectividad de los acabados interiores. El segundo de ellos, la uniformidad, consiste en las diferencias relativas entre las zonas más iluminadas y las menos iluminadas, afectando de manera directa la distribución de los vanos, su tamaño y muy especialmente su separación máxima. El tercero, el control de deslumbramientos, tiene que ver con qué tan brillante resultará el vano o una mancha de sol que incursione al espacio, con respecto al nivel

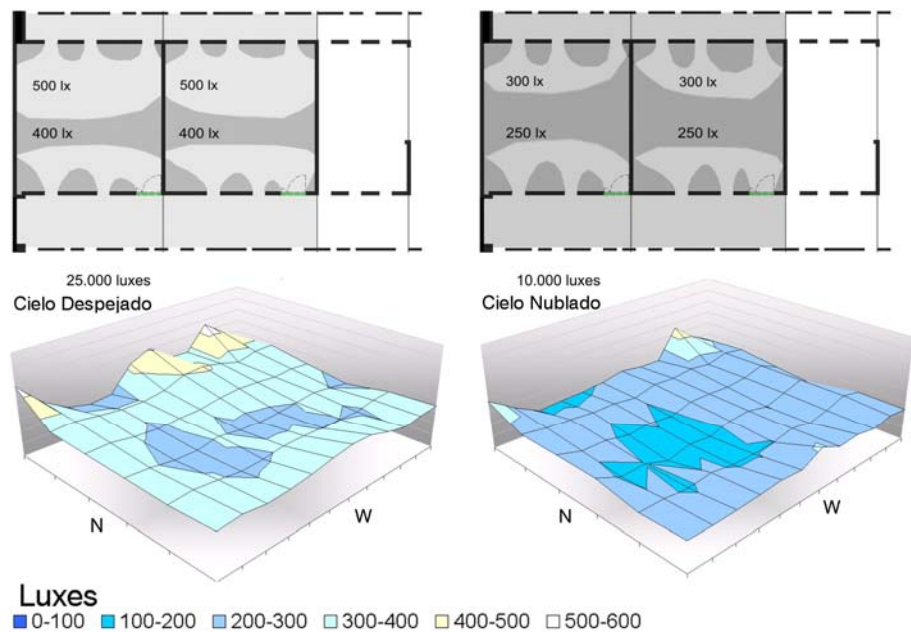


Figura 5. Resultados de las mediciones realizadas con sensores remotos programables en el interior del modelo y estimativo de la iluminación del aula ante condiciones de luminancia exterior de 25.000 y 10.000 luxes. Según los registros de la figura 3, 25.000 luxes es una condición de clima lumínico que se superó en Medellín durante 8 horas y 30 minutos en los días en que se realizaron las mediciones.

medio de iluminancia del aula, condición que puede dificultar la visión al encguecer temporalmente a una persona a pesar de que el nivel de iluminación del aula esté de acuerdo a lo que exige la ley. La prevención de condiciones de deslumbramiento condiciona colores, texturas, y muy especialmente los dispositivos de control solar para prevenir que algunas superficies que van a estar en el campo visual de las personas no resulten demasiado brillantes. El compromiso por lograr una iluminación óptima conduce a establecer los rangos en los cuales es conveniente ubicar estas tres variables, siempre en el marco de lo que los ojos de los futuros usuarios y el tipo de actividad a desarrollar podrá requerir.

La forma convencional de abordar el diseño de una ventana es que una vez conocida la actividad que se estará realizando en su interior y las condiciones lumínicas en días nublados, el arquitecto se ocupe de propiciar un nivel de iluminancia promedio estándar, 500 luxes en el caso de las aulas. En el caso del proyecto para el Edificio de Aulas de la Universidad Pontificia Bolivariana, los cálculos preliminares, realizados aplicando el Ábaco de Dufton, permitieron concluir que para garantizar esta iluminancia, las ventanas serían de tal tamaño que en días despejados se tendría un exceso de insolación y por lo tanto dispositivos de control solar muy costosos. Considerando que la población estudiantil de esta universidad rara vez supera los 24 años de edad y que por lo tanto no requiere niveles tan elevados de iluminancia, se comenzó por estudiar la posibilidad de diseñar vanos que permitieran alcanzar un promedio más modesto de 350 luxes en días nublados. Lógicamente siendo un valor promedio los sitios de estudio más cercanos a las ventanas estarían por encima de este valor, condición favorable cuando el aula no está completamente llena. En cuanto se tuviera cielo despejado los niveles de iluminancia estarían cumpliendo con el nivel exigido por la norma.

Para determinar las consecuencias de haber reducido el nivel de iluminancia de referencia se eligió, de las 16 aulas que componen el proyecto, aquella que presentaría el desempeño lumínico menos favorable. Seguidamente se procedió a caracterizar el recurso lumínico disponible en el sitio y durante 60 días se estuvo midiendo, con una frecuencia de 10 minutos en el futuro emplazamiento del proyecto, la evolución del recurso lumínico natural en las orientaciones precisas que tendría el edificio. También fue preciso construir un modelo del aula y sus elementos circundantes en escala 1:10, el cual permitió medir las iluminancias en 72 puntos homogéneamente distribuidos sobre la superficie de trabajo utilizando para ello luxómetros marca Hobo. La correspondencia entre los niveles de luminancia exterior en cada intervalo del día y las iluminancias resultantes en el interior del

modelo, permitieron concluir que durante el periodo comprendido entre las 8:00 y las 16:30 horas, intervalo en el que se programan la mayor cantidad de clases, los niveles de Luminancia Exterior Vertical superaron los 25.000 luxes y que con dicho valor, la iluminancia promedio del aula estaría cercana a los 350 luxes, alcanzando valores de 500 luxes en las zonas cercanas a la ventana. Aprovechando esta misma base de datos, se simuló el desempeño lumínico en días especialmente oscuros, en los cuales el nivel de Luminancia Exterior Vertical no superó los 10.000 luxes antes de las 8:00. Esta información fue punto de partida para las estrategias de iluminación conjugada aplicadas al momento de diseñar los circuitos de alumbrado eléctrico así como sus estrategias de operación.

3. ACCESIBILIDAD SOLAR

En el caso del control de la incursión solar el procedimiento fue similar, sólo que no se partió de la visión, sino de la tolerancia estimada de un estudiante hipotético a la exposición a los rayos solares en el clima y nivel de arropamiento típicamente universitario. Esto requirió definir el Tamaño Máximo Tolerable (TMT) de las manchas de sol y el Tiempo Máximo de Exposición (TME), de acuerdo a las horas del día y lugar que pueda resultar expuesto antes de comenzar el análisis de incursión solar. Ambas magnitudes, TMT y TME son magnitudes arbitrarias que al igual que los umbrales mínimos de iluminancia, corresponden con lo que a opinión de los expertos el grueso de usuarios considerará como el mínimo aceptable o el máximo tolerable, según el caso. Lógicamente nunca se podrá tener certeza de que algún individuo en este mismo rango se encuentre incómodo.

Es de resaltar que aquello que se considera un nivel de asoleamiento máximo tolerable regularmente varía en el transcurso del año y del día. La sombra no siempre se aprecia ni se requiere con igual intensidad. Incluso en lugares como la zona ecuatorial, donde no se presentan estaciones y el clima es muy constante, se presentan diferencias de utilización que responden a los calendarios y horarios de funcionamiento, condición especialmente fuerte en edificios con destinación educativa. Por esta razón todo sistema de control solar requiere dos sincronizaciones; una horaria y otra estacional o por temporadas. La claridad acerca de horarios y calendarios es lo que permite resolver a qué horas, durante cuánto tiempo, en qué fechas y lugares y con qué dimensiones una mancha solar se podría considerar como deseable (umbral mínimo) o como tolerable (umbral máximo).

Una vez decididos el tamaño máximo tolerable de las manchas solares y el tiempo máximo de exposición a los rayos solares en los diferentes espacios del proyecto y temporadas del calendario académico, fue preciso identificar las variables arquitectónicas para las cuales interesaba determinar su correspondiente rango de variabilidad. No conduce a solución alguna permitir que todas las variables arquitectónicas efectivamente varíen. Dando respuesta a condicionantes de carácter económico o estructural, entre otros, algunas variables pueden ser transformadas en constantes tan pronto como sea posible. Si se hubiera tratado de fachadas con balcones, posiblemente las principales variables a tener en consideración hubieran sido la altura del dintel y la profundidad del balcón, dejando fijo el ancho del vano o la altura entre pisos, dimensiones que regularmente están fuertemente condicionados por razones de sismoresistencia.

El sistema de fachada de doble piel consiste en dos fachadas similares separadas entre sí de manera que conforman una cámara de aire ventilada. Los vanos de ambas capas presentan regularmente una desalineación intencional, de modo tal que la luz y la ventilación natural ingresan libremente al edificio mientras que los rayos solares son obstruidos. En el caso del sistema de fachada que se diseñó para el Edificio de Ingenierías, se acordó dejar fijo el ancho del vano por razones de modulación de fachada, mientras que la separación entre las pieles estuvo condicionada por el ancho del pasillo, es decir, por un requerimiento de evacuación. Se consideraron como variables los tres aspectos restantes: los ritmos en los vanos, la desalineación necesaria entre los vanos de la primera y la segunda piel y en tercer lugar los espesores de las pieles y que ayudó a elegir el material de ambas fachadas.

Mediante un diagrama de sombras construido para la latitud de Medellín se trazó de forma manual la incursión solar para las fechas en que inician y terminan los periodos académicos, despreciando las incursiones solares que acontecen durante los períodos de vacaciones. Para las fechas evaluadas se midió el ancho que alcanzaban las manchas y el número de puestos de estudio involucrados. De esta manera se detectó muy rápidamente que si el desfase se desplaza hacia el norte, comenzaría a ingresar demasiado sol a las aulas en el periodo de noviembre a enero. Contrariamente, si el desfase se desplaza hacia el sur, entonces progresivamente quedarían comprometidos más sitios de estudio durante el

periodo de mayo a julio, fecha en que se programan los cursos intensivos de posgrado. Por estos motivos el des-alineamiento óptimo para las aulas se calculó a partir de las fechas que delimitan el calendario académico, la distribución de las mesas de estudio y la posición del tablero. El criterio solar para los baños fue diferente: allí se permitió el ingreso de mucha más radiación solar, siempre y cuando no alcanzara los espejos.

Posterior a esta exploración manual del desempeño solar se procedió a elaborar los diagramas de ganancias solares, utilizando para ello un software desarrollado por el autor y que permite comparar las ganancias por radiación solar directa que ocasionarían diferentes sistemas de fachada asumiendo total ausencia de nubosidad. Los diagramas resultantes (figura 6) permitieron identificar los periodos en los cuales cada conjunto de pieles presentaría su mejor desempeño. Las mejores alternativas fueron perfeccionadas y re-evaluadas utilizando esta misma herramienta, aprovechando que el nivel de precisión es elevadísimo en comparación con el método manual aplicado hasta ese momento. De esta manera se pudo empalmar el mejor periodo de desempeño de las fachadas con el calendario académico de la universidad.

Este tipo de análisis permite conocer con todo detalle los intervalos en los que se presentarían las peores condiciones de insolación, fechas y horas críticas, pero utilizando esta información no es posible saber en qué lugares se proyectarían las manchas de sol. Por este motivo simultáneamente se estuvieron haciendo simulaciones de la incursión solar que ocasionarían las diferentes alternativas de ritmos de fachada. Las simulaciones fueron realizadas con otro software desarrollado por el autor denominado Urban Helios, se trata de un programa que mediante un conjunto de rutinas de AutoLISP, permite calcular la frecuencia anual con que cada uno de los puntos sobre el plano de trabajo estará expuesto a la radiación solar directa. Los mapas de horas de exposición al sol en promedio anual permitieron verificar que las condiciones de accesibilidad solar que se presentarían en las aulas efectivamente se correspondieran con las premisas de diseño preestablecidas: el tablero y casi todo el campo visual de los estudiantes permanece a la sombra durante todo el año a todas horas del día y los puestos de estudio experimentan una accesibilidad solar muy reducida, de manera que en el fondo de las aulas se concentran las sillas más afectadas. Algunos ajustes menores en el diseño de los ritmos se realizaron una vez que estas simulaciones facilitaron revisar posibles manchas solares que lograrían atravesar ambas pieles considerando 1872 instantes homogéneamente distribuidos en el transcurso del

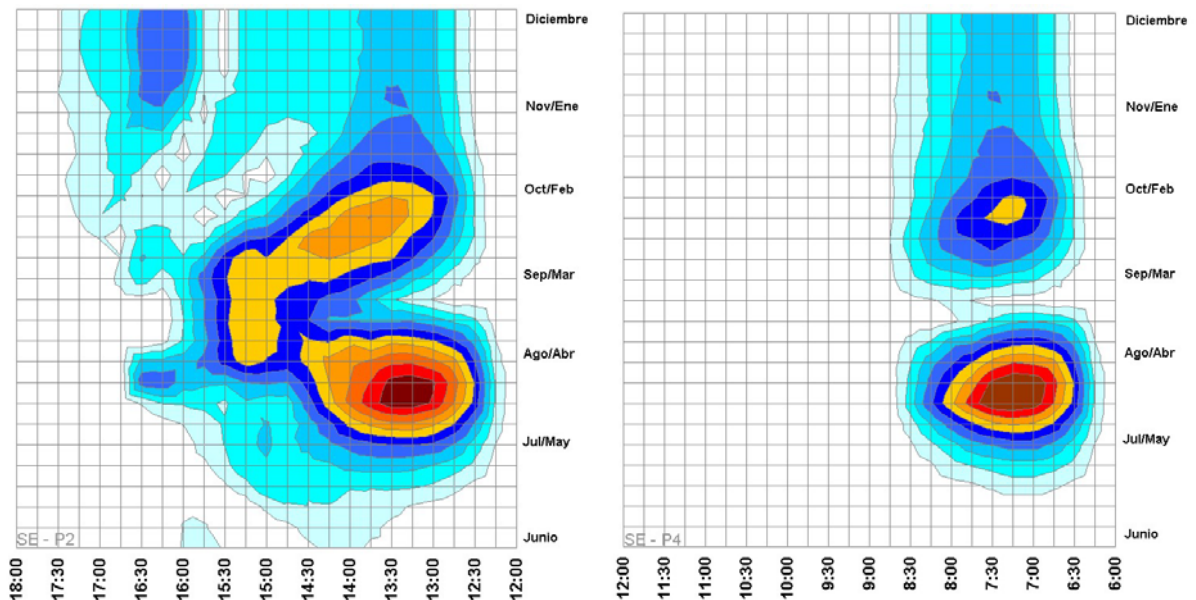
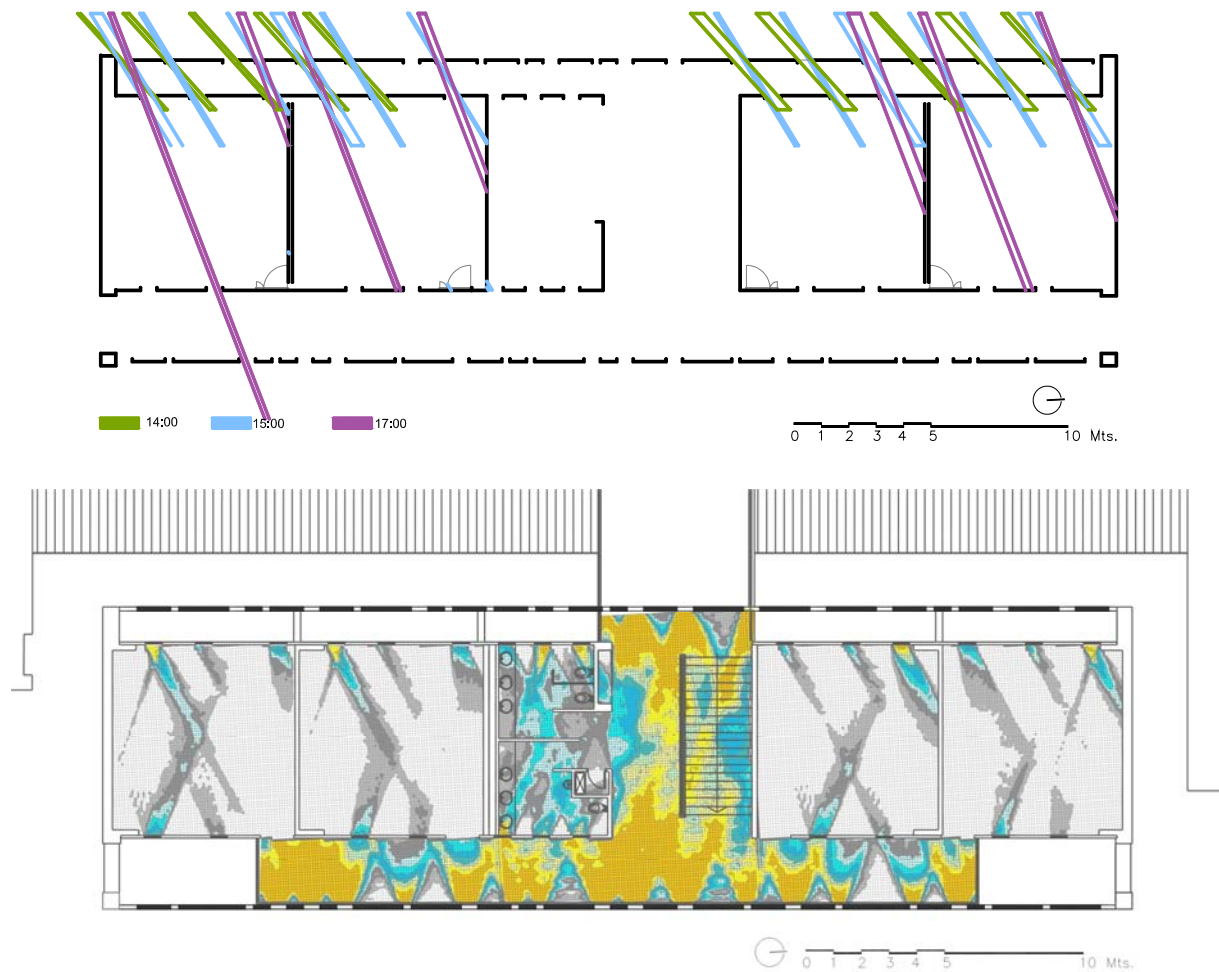


Figura 6. Diagramas de ganancia solar. En las abscisas las horas del día, en las ordenadas las fechas del año. Las zonas más intensamente coloreadas corresponden a los instantes en que hay un mayor ingreso de radiación solar al interior del aula por el efecto combinado de todas las ventanas. A la izquierda, diagrama correspondiente a la fachada occidental de una de las aulas del tercer piso en un estado preliminar. A la derecha, evaluación correspondiente al diseño de ritmos definitivo de la fachada oriental una vez se desplazó 30 centímetros hacia el norte la piel exterior.



Figuras 7 y 8. Arriba, incursión solar para las horas de la tarde del día 21 de noviembre en las aulas de la cuarta planta a partir de un diseño de ritmos de fachada preliminar. Abajo, Huellas de Sombra en la tercera planta a partir del diseño de fachadas definitivo. Los colores más intensos corresponden a los lugares donde las manchas de sol se proyectan con una mayor frecuencia en el transcurso de todo el año asumiendo ausencia de nubosidad.

año. Se simularon 72 posiciones solares diarias (es decir intervalos de 10 minutos en 12 horas de simulación diarias) durante 26 fechas distribuidas homogéneamente en el transcurso del año (es decir una simulación por cada siete días).

4. ILUMINACIÓN Y CONTROL SOLAR DE LOS EDIFICIOS PARA AULAS

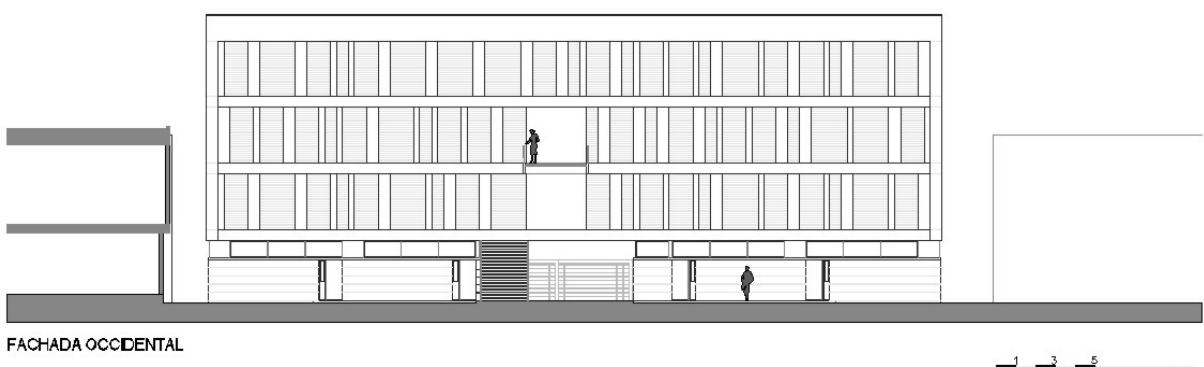
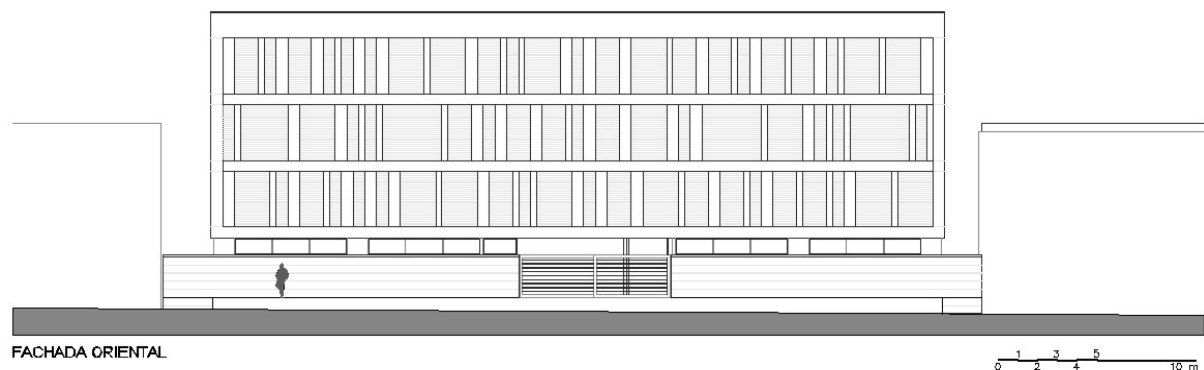
En la Universidad Pontificia Bolivariana en Medellín existen abundantes precedentes de edificios con aulas. Una buena parte de estas edificaciones presentan excelentes condiciones de ventilación e iluminación naturales, pero por la desfavorable orientación de parte del trazado urbano del cámpus, otras resultan muy calurosas en tardes despejadas. Es normal observar aulas con las cortinas cerradas, la luz artificial encendida y consecuentemente condiciones de temperatura y renovación de aire inadecuadas. Regularmente en las clases programadas a partir de las 14:00 horas, una buena porción de estas aulas quedan inhabilitadas para programar un curso que implique lleno total.

Las premisas arquitectónicas de este nuevo edificio fueron que a pesar de disponer de un sitio muy estrecho y alargado que obligaba a que sus dos fachadas principales estuvieran nuevamente enfrentadas hacia el oriente y el occidente, los rayos solares no deberían interferir con las actividades académicas. El punto más importante que se acordó con las directivas universitarias fue que las aulas no resultaran calurosas y que por ningún motivo fueran a tener cortinas ni ningún otro elemento móvil que pudiera obstaculizar su ventilación. Por el escaso ancho del sitio, no se pudo contemplar la opción de tener voladizos, con lo cual la obligatoriedad de tener fachadas lisas se aprovechó como argumento

estético. Un proyecto minimalista en el cual se planteó el reto de respetar al máximo el rigor en la modulación de sus aberturas, utilizar una sola pieza en fachada, variando exclusivamente su espaciamiento para maximizar las posibles combinaciones de modo que en apariencia las fachadas del edificio fueran un resultado aleatorio.

La investigación acerca de los ritmos de los vanos en las pieles internas del edificio sustentada en los registros de iluminancia obtenidos en el modelo a escala permitieron concluir que dicho ritmo debería estar condicionado por asuntos de homogeneidad lumínica, evitando tener una distancia mayor a tres módulos (1.80 m.) entre vanos y asegurando que los vanos de las fachadas oriente y occidente nunca estuvieran enfrentados. A su vez, al medir las iluminancias resultantes con diferentes ritmos de los vanos de las pieles externas, se pudo concluir que la incidencia de estos ritmos en el ambiente lumínico interior sería poco notoria. En consecuencia, los ritmos exteriores están condicionados por la presencia de vanos en las pieles internas, la distribución del mobiliario en el interior del aula y en especial, por temas de control solar, de acuerdo a las fechas y horas en que la necesidad de sombra es mayor. En resumen, con el propósito de sacar el máximo partido formal y ambiental al conjunto de cuatro pieles, se decidió garantizar sombra, viento y luz en ese preciso orden de prioridad, invirtiendo la pérdida de visual ocasionada por el sistema de control solar en una maximización de la refrigeración de las aulas, en contraposición a las aulas cercanas, que resultan luminosas pero calientes.

El esfuerzo se concentró en generar conjuntos de alternativas arquitectónicas en las cuales el desempeño lumínico y solar fuera conocido. Los instrumentos de análisis lumínico (caracterización lumínica del sitio, mediciones en modelos a escala, cálculo de los Factores de Distribución Lumínica, estimativos de Desempeño Lumínico) y los instrumentos de análisis solar (Diagrama de Sombra, Software Urban Helios y Helios 9.0) no fueron aplicados aquí para diagnosticar o verificar una determinada condición ambiental, sino para explorar combinaciones de variables y luego elegir, dentro de las arquitecturas posibles, aquella que satisfacía mejor la condición previamente diseñada. Fue en el diálogo con las Directivas Universitarias, al decidir qué variable tendría poder subordinante sobre las demás, cuando quedaron tomadas todas las decisiones cruciales del proyecto. El diseño final de las cuatro pieles no fue más que la puesta en orden del planteamiento original de obtener el máximo de combinaciones de una sola pieza, pero respetando siempre los siguientes umbrales de tolerancia:



Figuras 9 y 10. Fachadas definitivas del proyecto.

En los pasillos el exceso de radiación solar no es indeseable, sino que por el contrario resulta conveniente para no fomentar la permanencia de personas que una vez empieza la clase se convierten en foco emisor de ruido. La abundancia de aberturas impide un calentamiento de los pasillos y el tono oscuro del piso previene el posible deslumbramiento al salir de clase. Además, la manera más económica de tener un buen nivel de iluminación dentro de las aulas es sobreiluminando los espacios que las separan del exterior.

En las aulas el criterio para el manejo de los rayos directos del sol es contrario al de los pasillos. En primer lugar, en todo momento corresponde sombrear el tablero, pues al ser una superficie blanca y brillante, bastaría una estrecha mancha de sol sobre el tablero para que todos los asistentes, incluido el profesor, quedaran deslumbrados. En segunda instancia se protegieron todas las sillas durante los dos periodos de 15 semanas al año en que se programan los cursos regulares. Con el fin de ganar un poco de libertad en las posibles combinaciones de ritmos de fachada, se permitió el ingreso de unas manchas de sol de hasta 20 centímetros de ancho que comprometen los últimos puestos hacia el fondo de las aulas, pero siempre correspondiendo a las semanas de vacaciones, en las cuales se suelen programar cursos intensivos con un número reducido de estudiantes.

En los baños se aplicó un criterio intermedio al de los pasillos y las aulas. Se permitió un mayor ingreso de sol buscando su efecto antiséptico y considerando la poca permanencia de las personas en este lugar. No obstante, se sombreó más el muro en que se instalaron los espejos. Como resultado de esta decisión, los baños son notoriamente luminosos en comparación con las aulas, lo que facilita su limpieza y constituye una condición favorable no considerada inicialmente como premisa de diseño.

Por otro lado, como las simulaciones lumínicas permitieron identificar la imposibilidad de lograr suficiente homogeneidad lumínica con menos de seis vanos en las pieles interiores, la libertad en la variabilidad de los ritmos de fachada está condicionada por el número de vanos (mientras menos vanos mayor número de combinaciones). Se optó entonces por tener tres vanos hacia el occidente y otros tres más hacia el oriente, para lograrlo fue preciso otorgar a la puerta responsabilidades de iluminación, modificando su diseño y contabilizándola como un vano más. Estas modificaciones brindaron



Figuras 11 y 12. Arriba, vacío a triple altura en el costado occidental del edificio en las horas de la tarde. Abajo, circulación de acceso a las aulas por el costado oriental en las horas de la mañana.

suficiente libertad de combinaciones para que la fachada oriental aparente ser aleatoria sin sacrificar la calidad lumínica del aula.

La relación existente entre el largo de cada salón y el número de módulos que encajaban en cada uno de ellos estaba cerca del óptimo, pero se seguían teniendo incursiones solares indeseables. Reducir el ancho de los pasillos hubiera sido una alternativa para elevar los niveles de iluminancia al interior de las aulas, pero los pasillos no hubieran tenido el ancho requerido para la circulación de personas en sillas de ruedas. Cerca de concluir el trabajo, se pudo comprender que el módulo de la fachada no debería haber sido 60 centímetros por facilidad constructiva, sino que debería haber estado en función de la profundidad del aula, para obtener el número deseado de combinaciones. Para solventar esta dificultad sin modificaciones radicales en el material de fachada que para ese momento ya había sido elegido, se recurrió a incluir en el diseño de fachadas rendijas de 30 cms de ancho, es decir medio módulo. Con esta modificación se acentuó la imagen de aleatoriedad y resultó relativamente sencillo perfeccionar los desfases para que casi nunca entre sol en las semanas del calendario académico.

5. CONCLUSIÓN

En el proceso de optimización lo primero es acordar qué es lo que se desea propiciar en un espacio, sólo entonces es posible establecer cuál es el grado de libertad con que se cuenta a la hora de tomar opción por algún componente arquitectónico capaz de condicionar las condiciones ambientales de un recito. El camino contrario es confinar los instrumentos de análisis y simulación al terreno de lo diagnóstico, con lo cual pronto se termina trabajando por tanteo y error en la búsqueda de una solución que si bien podrá resultar aceptable, sólo un golpe de suerte podría garantizar que fuese la óptima.

Todo par de valores delimitan un intervalo. En el caso de este proyecto los umbrales de requerimiento lumínico mínimo y de tolerancia solar máxima fueron los que operaron como punto de partida para diseñar el sistema de pieles del edificio. Se diseñó entonces a partir de lo tolerable o de lo mínimo requerido, para llevar los dispositivos de fachada al máximo de su desempeño posible. Si se tiene éxito identificando los rangos de variabilidad que serán considerados como aceptables para cada variable, entonces será posible hacer el diseño de fachadas de manera regresiva.

Todos las herramientas de análisis, monitorización y simulación aplicadas en este proyecto se utilizaron no para diagnosticar, sino para obtener un conocimiento anticipado acerca del orden de magnitud de los fenómenos lumínicos y solares, tanto en el aspecto espacial (dónde se presenta una condición) como en el aspecto temporal (en qué momento). Este conocimiento anticipado, así como su confrontación con los rangos de conveniencia y tolerabilidad previamente definidos, constituyeron las directrices para dar satisfactoria respuesta al encargo original: diseñar dos fachadas que aparentan ser aleatorias y que garantizan las mejores condiciones de sombra e iluminación en el marco de las restricciones de orientación y emplazamiento del edificio.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- KOENIGSBERGER, O.H, T.G. Ingersoll, Alan Mayhew y S.V. Szokolay. (1977). *Vivendas y Edificios en Zonas Cálidas y Tropicales*. Editorial Paraninfo, Madrid.
- M.C. LAN William. (1986). *Sunlightning as Formgiver in Architecture*. Van Nostrand Reinhold Company, New York USA.
- MELGUIZO BERMÚDEZ, Samuel y Octavio Uribe Toro. (1987). *Asoleamiento, Teoría General y Diagramas*. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Facultad de Arquitectura, Medellín.
- OLGYAY, Victor. (1968). *Clima y Arquitectura en Colombia*. Universidad del Valle, Carvajal y Compañía, Cali.
- SALAZAR, Jorge. (2006). *Diseño de Sombras*. Universidad Nacional de Colombia. Medellín.
- SALAZAR, Jorge y Alexander González. (2004). *Luz Natural en la Arquitectura*. O-I. Medellín.