



XIENCAC
ENCUENTRO NACIONAL DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

VII ELACAC
ENCUENTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

Búzios - RJ - 2011

MÍNIMO ÓPTIMO DE GANANCIA SOLAR POR FACHADAS SISTEMA DE DOBLE PIEL EN UN EDIFICIO DE LABORATORIOS EN BARRANQUILLA, COLOMBIA.

Jorge Hernán Salazar Trujillo

Arquitecto, Profesor Titular. Universidad Nacional de Colombia, jhsalaza@unal.edu.co

RESUMEN

Un edificio multipropósito ubicado en el Caribe Colombiano fue la oportunidad para optimizar la ubicación de los elementos que componen la envolvente y minimizar los consumos energéticos del sistema de refrigeración mecánica. El sistema de doble piel propuesto para el edificio de laboratorios de la Universidad del Norte en Barranquilla, posee una piel externa con varios tipos de paneles prefabricados. Su distribución aparentemente aleatoria es el resultado de un proceso de análisis y simulación. El método de análisis que aquí se presenta permitió minimizar la ganancia solar para un número constante de elementos. A partir de un edificio con una distribución preliminar de paneles y gracias a la técnica denominada Optimización del Control Solar, se elevó el desempeño energético del edificio. Las fachadas, actualmente en construcción, requieren una inversión económica idéntica a la planteada desde la etapa de concurso. En comparación, las cargas térmicas por radiación solar directa fueron reducidas a la mitad.

Palabras clave: control solar, sombra, eficiencia energética, fachadas de doble piel.

ABSTRACT

A multipurpose building located in the Colombian Caribbean Coast, was the opportunity to optimize the component elements location in order to reduce the HVAC energy consumption. The double skin facade of the new laboratory building in the "Universidad del Norte" in Barranquilla, has in its external sheet several prefabricated elements types. The apparent random distribution of these panels is the result of an analysis and simulation process that allowed to minimize the solar gain for a constant number of elements. Starting from a preliminary panel distribution and through the aid of a Solar Gain Optimization Technique, it was possible to elevate the building energy performance. In comparison with the building proposal during the competition time, the double skin system now under construction, requires the same economical investment, but the solar thermal loads were cut off to a half.

Key Words: shading device, shade, energy efficiency, double skin facade.

1. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Barranquilla, Colombia, está ubicada en la latitud 10° 59' norte. Es una ciudad caribeña que se encuentra a 4 metros sobre el nivel del mar y que presenta temperaturas y humedades elevadas durante todo el año. Las medias de temperatura anual son mínimo 23°C y máximo 34°C. La humedad relativa entre 77% y 84%. Éstas características climáticas, sumadas a la intensa radiación en el trópico, explican por qué en Barranquilla un buen sombreado de las fachadas puede tener un alto impacto en la reducción de las cargas térmicas del edificio (OLGYAY, 1968) y un apreciable mejoramiento de las condiciones de ergonomía visual.

El grupo de trabajo Oficina de Proyectos Urbanos OPUS, con el apoyo y asesoría bioclimática de PVG arquitectos, ganaron en el año 2008 el concurso convocado por la Universidad del Norte para el diseño y construcción de un nuevo edificio para su sede. Un edificio multipropósito de mediano formato, dónde debían albergarse aulas, salones de computación, auditorio, muchos laboratorios y oficinas. (Figura 1).



Figura 1 – Localización urbana. Edificio Uninorte, Barranquilla, Colombia. Ciudad caribeña que se encuentra 4 metros sobre el nivel del mar, con una latitud de 10° 59' norte, con temperaturas y humedades elevadas todo el año.

El trabajo que se realizó para dar una solución eficiente a las fachadas del edificio se basó en la Optimización del Control Solar (OCS por sus siglas en español). Esta técnica consiste en identificar las necesidades de protección solar del edificio, para definir estrategias que permitan proyectar sombra en los lugares y momentos requeridos. Que los elementos de protección solar no generen más sombra de la necesaria fue denominado “mínimo óptimo” en trabajos anteriores (SALAZAR, 2003).

La fachada que se propuso para el edificio desde la etapa de concurso consistió en un sistema de doble piel con unos pasillos técnicos perimetrales en cada nivel y un recubrimiento interior vidriado. La piel exterior consiste en un conjunto de paneles de diversos materiales: soportes para vegetación, persianas de concreto con dos diseños diferentes, vidrio opaco y espacios vacíos (Figuras 2 y 3). Todos se distribuyeron estratégicamente para lograr que la edificación tenga un nivel de control solar en correspondencia con la diversidad de actividades que se desarrollarán en su interior, en las diferentes orientaciones de fachada.

La implementación de la técnica de OCS acarrea grandes beneficios para el proyecto: hay economías en la inversión monetaria requerida para construir la fachada, una reducción apreciable del peso muerto y menos costos asociados a las fundaciones y mantenimiento. También se presentan ahorros energéticos al reducir la potencia de enfriamiento, el tamaño de los ductos de aire acondicionado y por lo tanto se reduce el consumo energético que ocasiona la refrigeración mecánica (KOENIGSBERGER, 1977).

Adicionalmente a los beneficios económicos y energéticos, un adecuado control solar también genera impactos positivos en asuntos de confort. Cuando un edificio tiene una menor incursión solar, la sensación térmica, las condiciones de seguridad y la ergonomía visual mejoran. Todas estas son variables de primordial importancia en un edificio educativo, donde abundan las pantallas, los dispositivos electrónicos, los mesones brillantes y los riesgos de accidente característicos de los laboratorios.

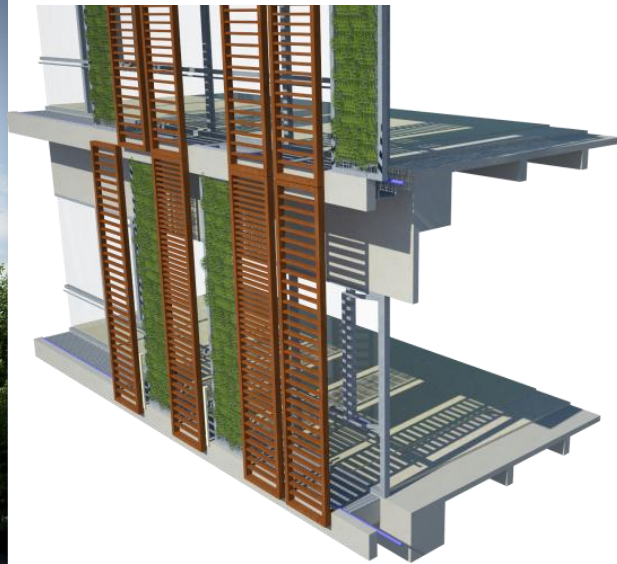
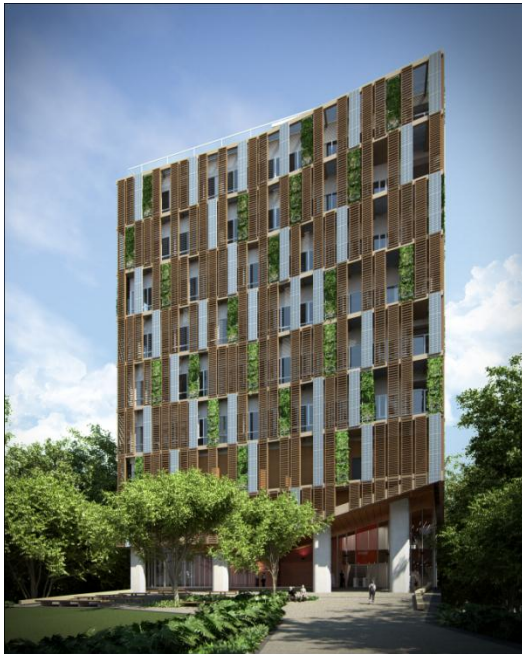


Figura 2 – Vista sur. Fachadas compuestas de dos membranas independientes y diferentes entre sí. Piel interior: perfiles de aluminio y vidrio Low-E. Piel exterior: paneles de soporte para vegetación, persianas, vidrio opaco y vacíos. Densidades y distribuciones según la orientación de cada fachada, para generar condiciones óptimas con un lenguaje común.

Figura 3 – Detalle sistema de doble piel. Viguetas prefabricadas en hormigón sobre estructura aporricada. Piel exterior: Estructura de concreto adherida a la estructura principal para la fijación de paneles. Panel vegetal: Perfil tubular galvanizado 60 x 80 mm, calibre 18. Malla electrosoldada galvanizada 80 x 80 mm. Panel de persiana: Concreto reforzado aligerado con microsferas de Expancel.

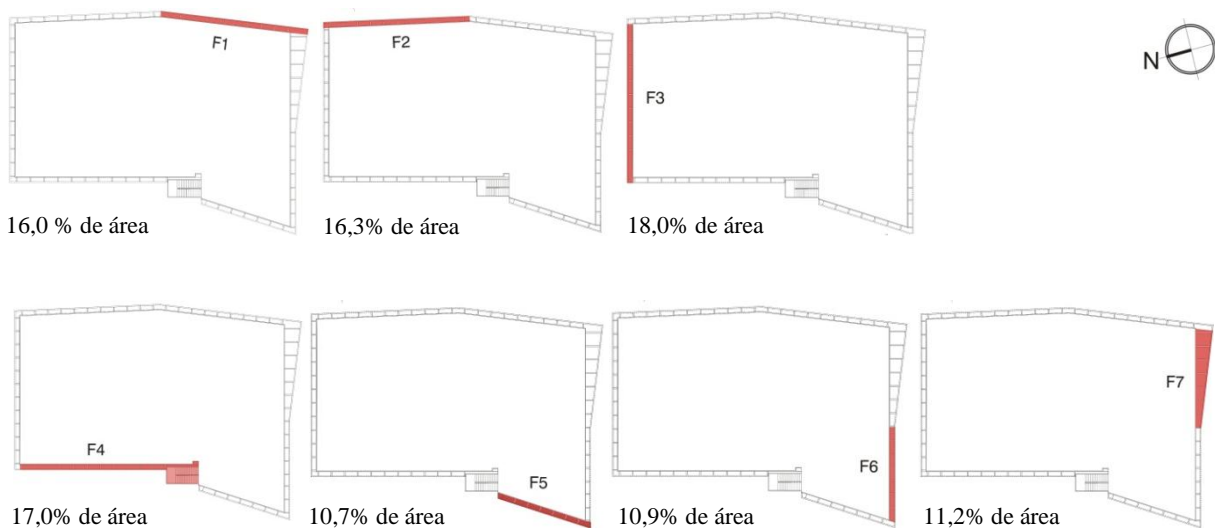


Figura 4 – Aporte al área total de fachadas de cada una de las fachadas.

2. OBJETIVO

Minimizar las cargas térmicas por radiación solar directa en un edificio mediante la correcta distribución de paneles prefabricados, aplicando la técnica de la Optimización de Control Solar y manteniendo constante el número de paneles.

3. MÉTODO

3.1 Simulaciones de ganancia solar

La optimización de las fachadas del edificio (Figura 4) se realizó a través de simulaciones computarizadas de la ganancia solar para la latitud de Barranquilla y asumiendo ausencia total de nubosidad (SALAZAR, 1998). Los cálculos de área sombreada con respecto al área expuesta a la radiación solar directa fueron hechos para todas las posibles direcciones en que los rayos solares incidirán sobre cada una de las siete fachadas del edificio.

El proceso contó con tres fases. En primer lugar los resultados de simular el edificio tal como fue presentado en la etapa de concurso fueron el punto de comparación de las alteraciones que se presentaron en la ganancia solar a medida que se realizaron cambios a la propuesta inicial. Seguidamente y por medio de la herramienta de simulación HELIOS, se pudieron obtener datos de incidencia solar que dieron un panorama detallado de la carga solar de cada fachada. Esto sirvió para identificar la estrategia de composición de cada fachada según su orientación.

En tercer lugar y con el propósito de abreviar el tiempo de simulación, se aplicó un esquema de trabajo similar al aplicado en proyectos anteriores (SALAZAR, 2009), pero migrando parte del proceso a hojas electrónicas que contenían material pre-procesado. En esta fase fue necesario definir unas restricciones claras para las modificaciones a realizar sobre las fachadas. Estas restricciones fueron de tipo compositivo, para asegurar que las siete fachadas tuvieran un lenguaje común, pero que las densidades y disposición de los elementos pudieran variar para responder de manera diferente a las condiciones de geometría solar que observaba cada fachada.

3.2 Emplazamiento y zonificación interna

Algunas estrategias ambientales básicas de fácil predicción ya habían sido fijadas desde la etapa de concurso. Tal es el caso de la proporción del edificio, su zonificación interna y la ubicación de punto fijo y pasillos hacia la fachada más castigada por el sol. Estos parámetros permanecieron prácticamente inalterados en las etapas posteriores. Algo muy diferente sucedió con el diseño detallado de los paneles y su manera de distribuirlos en las diferentes fachadas.

Estimar cómo se afecta el estado ambiental de un edificio con una fachada compleja requiere simulaciones muy laboriosas. Por eso antes de intentar encontrar una solución óptima a cada una de las fachadas, se verificó primero la conveniencia de las estrategias planteadas de manera preliminar durante el concurso. A su vez, el mayor conocimiento del tipo de mobiliario y los requerimientos de espacio de los diferentes grupos de investigación, permitieron ajustar la zonificación de funciones en correspondencia a las características solares del lugar. Se aplicó de esta manera el principio de que regularmente es más económico reubicar un puesto de trabajo que intentar resolver una condición solar desfavorable especificando más dispositivos de sombra.

3.3 Optimización previa de componentes

Cuando en un problema se tiene un número elevado de variables, se hace más difícil encontrar una combinación adecuada para todas ellas. Dar solución a los requerimientos de la edificación sugería mantener la mayor cantidad de magnitudes como características fijas. Se decidió entonces que si los paneles eran previamente optimizados como elementos independientes, luego la optimización de las fachadas resultaría más simple. De esta manera se liberó capacidad operativa para, más adelante, poder invertir esfuerzos en garantizar la parte estética y compositiva de la fachada.

Aplicando este razonamiento fueron estudiados con detalle las características geométricas de cada panel y su desempeño solar en cada una de las siete orientaciones. La depuración en el diseño de las “células básicas” permitió contar con elementos coherentes con la propuesta arquitectónica original y apropiados para cumplir las limitaciones planteadas en el presupuesto. La diversidad de paneles fue un asunto de estrategia compositiva. Su tamaño obedece a una lógica constructiva, pues se trabajó siempre con modulaciones comerciales para evitar desperdicios y facilitar la construcción de los elementos *in situ*. La escogencia de los materiales se hizo a partir de las implicaciones del montaje y el mantenimiento requerido para éstos.

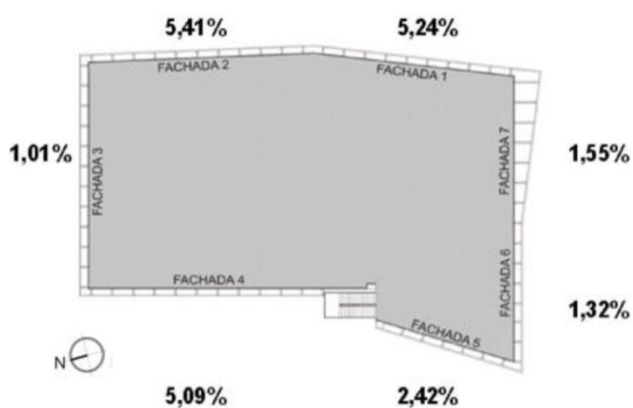
El proceso de depuración que permitió transformar en constantes la mayor parte de las variables finalizó cuando sólo quedaron dos aspectos a definir: proporción y distribución de paneles. La exploración de las estrategias compositivas para cada fachada se realizó teniendo en consideración únicamente estas dos variables y fue en el marco de estas restricciones donde se trabajó en lograr una solución óptima.

3.4 Optimización solar de fachadas

El procedimiento de optimización se dividió en dos partes. La primera se realizó a través de una rutina informática que aplica algoritmos clásicos de mecánica solar para medir el área expuesta a la radiación solar directa (SALAZAR, 1995). Se realizaron simulaciones de ganancia solar para cada uno de los paneles y para cada una de las siete orientaciones de fachada. Este análisis se realizó sobre elementos aislados y fuera de cualquier contexto.

La segunda parte consistió en ensamblar todos los datos numéricos obtenidos en unas hojas electrónicas entrelazadas. Se combinaron miles de datos (7 orientaciones x 5 tipos de panel x 4 datos por hora x 10 horas por día x 4 días por mes x 12 meses) para producir una sola gráfica (Figuras 5 y 6). Las fichas resumen facilitaron la comprensión de los resultados y la toma de decisiones. Este método es rígido por su raíz numérica, pero brindó suficiente flexibilidad para analizar el impacto solar de muchas combinaciones de paneles.

Fachadas	Opaco	TV Vegetal	TP Persiana	TH Vacio	CONTROL	
Fachada 1	11	11	54	34	110	110
Fachada 2	11	11	54	35	111	111
Fachada 3	0	18	54	48	120	120
Fachada 4	26	12	56	21	115	115
Fachada 5	16	7	36	13	72	72
Fachada 6	22	7	38	8	75	75
Fachada 7	23	8	38	8	77	77



Ganancia total por radiación solar directa: 22,03%

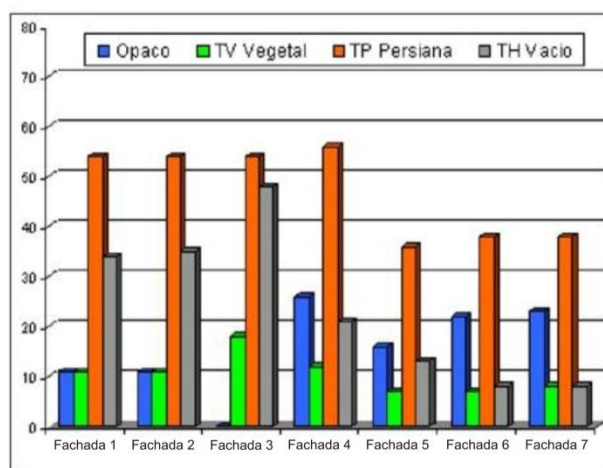


Figura 5 –Evaluación de la efectividad en el control solar que ocasionaba la distribución preliminar de paneles realizada de manera intuitiva durante la fase del concurso. El esquema de la izquierda, con su cifra final de 22.03%, corresponde a la ganancia por radiación solar directa comparada con la que tendría el mismo edificio de no contar con ningún elemento en su segunda piel. Junto a cada una de las siete fachadas aparece el aporte a la cifra global. Los valores más altos corresponden a las fachadas con un mayor aporte al balance energético del edificio. Arriba y a la derecha, composición de las fachadas, con el número de elementos de cada tipo requeridos para su ensamblaje.

La ficha resumen permite ingresar el número de paneles en cada fachada y arroja dos tipos de resultados: A escala general, un valor numérico del desempeño total del edificio y que se ubica abajo a la derecha en las figuras 5 y 6. El valor de Ganancia Total es ilustrativo del desempeño solar del edificio como un todo. A medida que menos radiación solar ingresa por las fachadas del edificio, esta cifra se hace menor. En las fichas resumen figuran también los resultados parciales discriminados por fachada, los cuales permiten saber cuál es la fachada que en cada caso ocasiona una mayor ganancia por radiación solar directa. La representación gráfica de la distribución de paneles mediante barras de color ayudó a visualizar la composición cuyo desempeño solar se ilustra en cifras.

Por medio de todas estas cifras se facilitó la interpretación de las diferentes combinaciones en función de la carga solar resultante. Finalizando el proceso de optimización, el desempeño de la solución definitiva no pudo ser mejorado sin afectar negativamente el aspecto de alguna de las fachadas. Se presume que una simulación computacional masiva mediante la técnica Montecarlo permitiría eventuales incrementos marginales en el desempeño de la doble piel. La composición definitiva obedece al requerimiento de minimizar las cargas térmicas del edificio y mantiene constante la cantidad de elementos presupuestada desde el inicio del proceso. Para futuros trabajos sería conveniente definir los algoritmos que reflejen los parámetros de diseño, como por ejemplo, el número máximo de paneles iguales que se pueden disponer contiguamente y el número mínimo y máximo de cierto tipo de panel por fachada, entre otros.

Variando ubicación y distribución de los elementos y comparándolos con la situación inicial de la etapa de concurso, se logró llegar a una solución que minimiza la ganancia solar por radiación solar directa con un número constante de elementos (Figura 7). El principal aporte metodológico de esta investigación fue desarrollar un método para explorar múltiples posibilidades de ensamble y composición de elementos de fachada previamente optimizados.

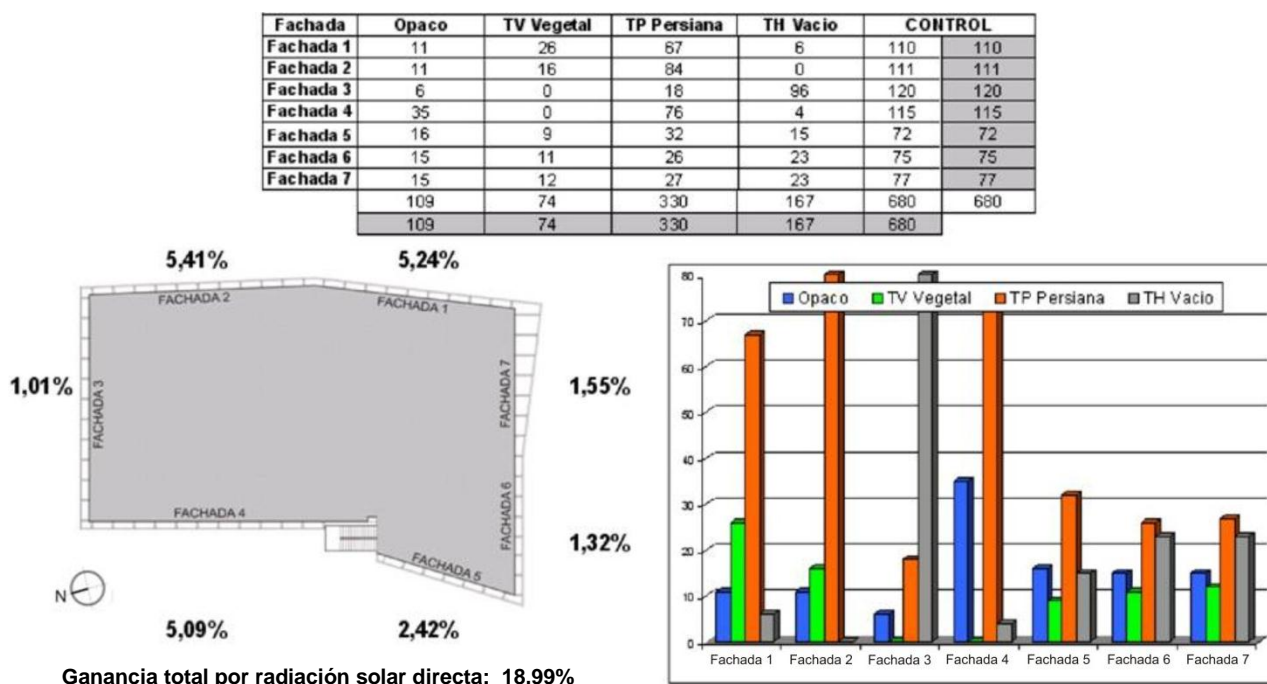


Figura 6 – Composición y disposición de las fachadas. Evaluación Ensayo 7.

Haciendo uso de paneles verdes, apersianados, opacos y vacíos, se conformaron las siete fachadas, respondiendo a las necesidades de control solar de cada espacio. Ubicando los paneles con una mayor capacidad de sombreado se generaron sectores más densos para proteger los espacios que así lo requerían. De esta forma el número y tipo de elementos es la precisa para cada una de las fachadas, evitando reducir innecesariamente la iluminación natural y brindando la justa sombra para los espacios que así lo requieren.

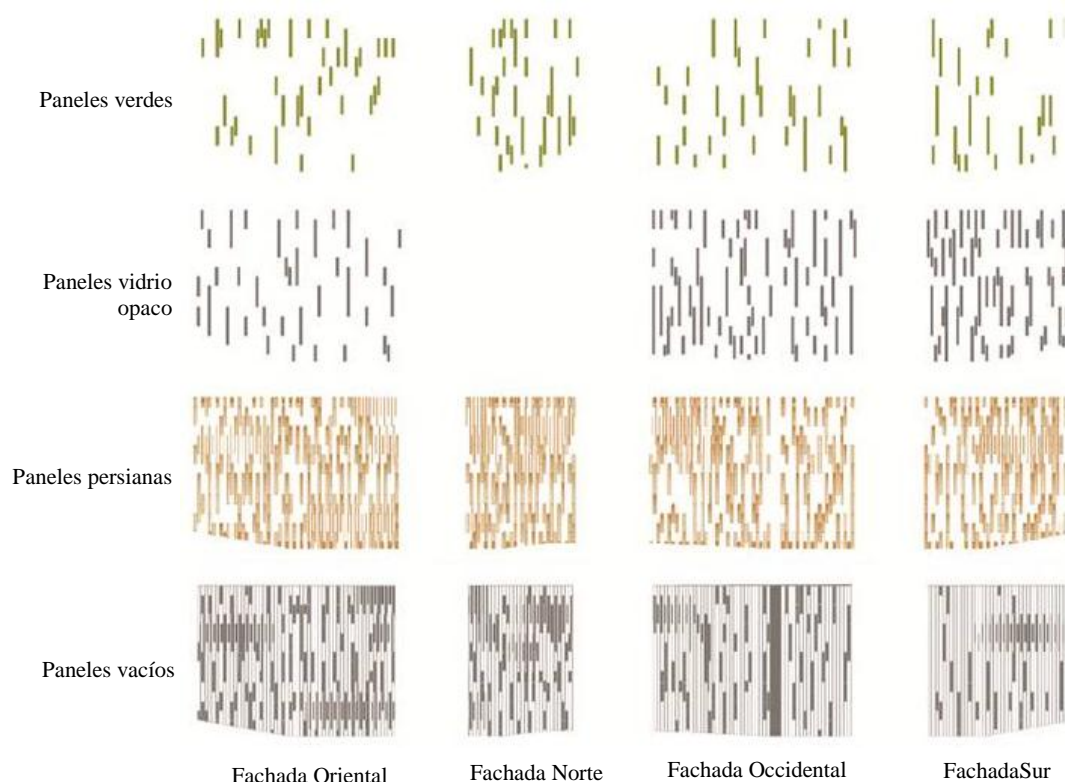


Figura 7 – Distribución de los diferentes tipos de paneles en cuatro de las fachadas del edificio.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el proceso de optimización, algunas de las fachadas (Figura 8) tuvieron más mejoría que otras, pero en casi todas se puede observar una tendencia a la reducción en los tiempos de exposición solar y un aminoramiento de los valores máximos alcanzados. En el proceso de optimización se hizo evidente que en la etapa de concurso las fachadas 1 y 2 (Tabla 1) tenían un nivel de sombra por debajo del que sería conveniente y que las fachadas 6 y 7 tenían más elementos de los necesarios.

Porcentajes de ganancia total por radiación solar directa

		Etapa concurso	Simulación Ensayos							Edificio canasto
			1	2	3	4	5	6	7	
Fachadas	1	5,24%	5,24%	5,24%	5,24%	3,68%	3,04%	3,06%	3,06%	3,02%
	2	5,41%	5,41%	3,85%	3,45%	4,26%	4,26%	2,76%	2,76%	3,15%
	3	1,01%	1,31%	1,47%	1,47%	1,63%	1,74%	1,74%	1,75%	0,18%
	4	5,09%	5,09%	3,63%	3,63%	4,08%	4,08%	4,08%	3,70%	4,78%
	5	2,42%	2,42%	2,42%	2,42%	2,42%	2,42%	2,42%	2,52%	2,17%
	6	1,32%	1,32%	1,73%	1,73%	1,73%	1,73%	2,44%	2,47%	0,98%
	7	1,55%	1,55%	1,98%	1,98%	1,98%	1,98%	2,67%	2,73%	1,36%
TOTAL		22,04%	22,34%	20,32%	19,92%	19,78%	19,25%	19,17%	18,99%	15,64%
		100,00%	104,69%	73,13%	66,88%	64,69%	56,41%	55,16%	52,34%	

Tabla 1 – Porcentajes de ganancia solar por fachada en todos los ensayos. A manera comparativa del margen de optimización solar se calculó el desempeño de un edificio hipotético completamente envuelto en persianas y que se denominó “edificio canasto”. Envolver todo el edificio en persianas de madera era una solución ambientalmente inaceptable y con un costo económico exagerado, pero permitió delimitar un rango representativo del proceso de optimización. Mediante la combinación de paneles y su reubicación en las diferentes fachadas nunca se podrá reducir la ganancia por radiación solar directa hasta el nivel que se alcanzaría apersianando todo el edificio. La redefinición de los porcentajes dentro del rango comprendido entre el “edificio concurso” y el “edificio canasto” demuestran cómo se logró duplicar la efectividad en el sombreado sin modificar ni el número de elementos que componen las fachadas.

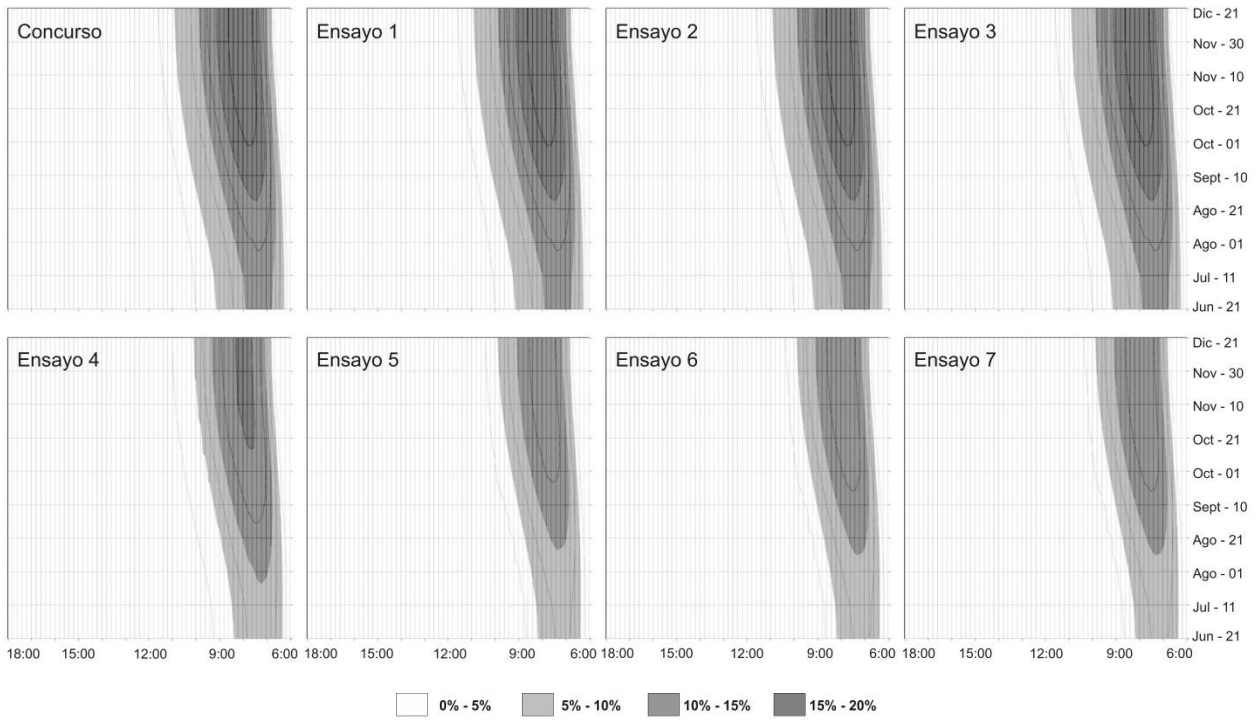


Figura 8 – Evolución del desempeño solar anual de la fachada 1. En cada diagrama las abscisas corresponden a las horas del día y las ordenadas los meses del año. El tono de gris representa la ganancias por radiación solar directa de en cada uno de los ensayos realizados comparando con un edificio de igual área y volumen pero sin elementos de sombra en su fachada exterior.

Aplicando los mismos principios compositivos y manteniendo constantes las cantidades de obra se logró que la carga térmica por causa de la radiación solar directa que presentaba el diseño preliminar del edificio (Figura 9) se redujera a la mitad (Figura 10). Esto equivale a afirmar que se logró sacar el doble de provecho a la sombra proyectada por cada uno de los elementos de fachada. Es notorio que las versiones de fachada, antes y después de la asesoría, resultan difícilmente diferenciables.

La metodología, basada en ecuaciones y datos de ganancia solar previamente calculados, hizo posible perfeccionar un sistema de doble piel que cumple con todos los requerimientos técnicos, estéticos y prácticos de la Universidad.

Entender la fachada no como un elemento único, sino como la agrupación eficiente de elementos, permitió aplicar estrategias bioclimáticas particularizadas para cada orientación con un lenguaje común. Adicionalmente, esto permitió respetar la intención inicial de desarrollar un edificio de imagen contemporánea con una distribución de elementos aparentemente aleatorios.



Figura 9 – Imagen propuesta del edificio. Espacio urbano y jardines. Acceso principal.

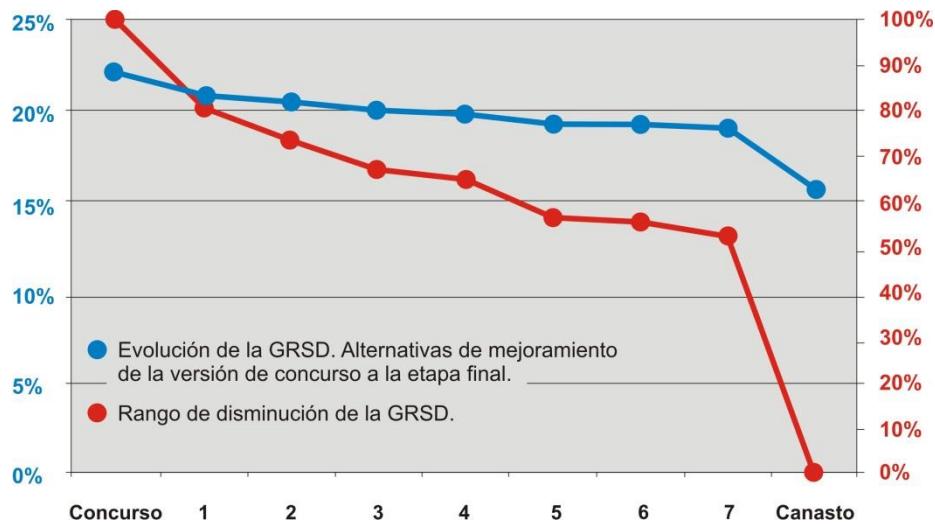


Figura 10 – Gráfica comparativa de la ganancia por radiación solar directa en cada ensayo. Los datos se presentan dos veces. La línea azul muestra el caso base (100%) correspondiente a un edificio con todas sus fachadas en vidrio claro y sin elementos de sombra. La línea roja muestra el 100% correspondiente al edificio en su etapa de concurso y el 0% a la ganancia solar que se tendría protegiendo todas las fachadas del edificio con elementos apersianados, denominado edificio canasto.

El propósito central de la optimización fue conservar un equilibrio entre la cantidad de elementos en fachada y sus implicaciones estéticas y compositivas. Por esta razón los cambios que se fueron sucediendo en la disposición de los paneles fueron siempre cotejados con el resultado general de la fachada. Se pudo así tomar decisiones desde lo técnico y bioclimático teniendo siempre en cuenta la imagen general del edificio. Se pudo prevenir de esta manera no generar mejoras locales en alguna fachada a costa de empeorar el desempeño global del edificio.

5. CONCLUSIONES

El método por medio del cual se hicieron los análisis fue una herramienta fundamental para examinar detalladamente cada elemento de fachada en cada orientación y considerar su aporte global ante la protección solar. Trabajar con elementos o fachadas individuales nunca hubiera permitido llegar a la solución que está actualmente en construcción.

Por economía de los sistemas de cómputo y para agilizar la obtención de respuestas, no se desarrolló un sistema basado en ecuaciones que además diera pautas estéticas para la configuración del lenguaje de la piel exterior del edificio. Por este motivo a lo largo del proceso de evaluación y diseño siempre fue necesario contrastar los resultados analíticos con la subjetividad de la apreciación estética.

Es fundamental tener claro en qué momento comenzar a usar las simulaciones y cuándo no son más que un gasto innecesario de tiempo y recursos. La zonificación de las plantas, la ubicación de la escalera de emergencia y el emplazamiento del edificio, fueron definidos sin necesidad de simulación alguna. Las simulaciones se usaron únicamente para trabajar sobre las variables que hacían parte de la ecuación de diseño. Nunca se simularon condiciones que tuvieran resultados fácilmente previstos, para no incurrir en gastos innecesarios de tiempo ni en procesamientos de cantidades exageradas de datos.

La combinación de elementos que conforma la solución final para la piel de la edificación, cumplió con todas las condiciones requeridas y optimizó notoriamente la automatización del edificio. Los beneficios de esta fachada se traducen en un ahorro económico en maquinaria de refrigeración, menor tamaño de ductos de aire acondicionado, menor potencia de la subestación eléctrica y en un futuro próximo, menor gasto energético.

La metodología usada para este edificio, conjuga versatilidad y utilidad en proporciones tales que permitió dar solución a las condiciones y necesidades de este caso específico. Fue un equilibrio entre la

rigidez de las tablas numéricas y el manejo flexible del concepto de diseño. Por lo anterior, hay que tener en cuenta que no en todos los casos conviene aplicar esta técnica tal y como se usó en este edificio. Será conveniente analizar las condiciones, obstáculos y resultados esperados de cada caso y ajustar metodología y herramientas de análisis para generar en otras oportunidades, nuevamente, resultados óptimos.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

KOENIGSBERGER, O.H, T.G. Ingersoll, Alan Mayhew y S.V. Szokolay. (1977). **Viviendas y Edificios en Zonas Cálidas y Tropicales**. Editorial Paraninfo, Madrid.

OLGYAY, Víctor. (1968). **Clima y Arquitectura en Colombia**. Universidad del Valle, Carvajal y Compañía, Cali.

SALAZAR, Jorge. Ader García, Alexander García, Lucas Arango y Natalia Giraldo. (2009). **Criterios para el diseño de fachadas utilizando elementos prefabricados en las torres de oficinas. Proyecto centro cívico de Antioquia, Plaza de la Libertad, Medellín, Colombia**. X Encuentro Nacional e VI Encuentro Latino Americano de Conforto no ambiente construido. Natal, Brasil.

SALAZAR, Jorge. (2003). **Control solar de un edificio de aulas mediante fachadas de doble piel**. VII Encuentro nacional de estudiantes de arquitectura. Grupo EMAT. Facultad de Arquitectura. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín, Medellín, Colombia.

SALAZAR, Jorge. (1998). **Solar Performance and Shadow Behaviour in Buildings. Case Study with Computer Modelling of a Building in Loranca, Spain**. Building and Environment, London. Vol 33, Nos 2-3 pp. 117-130.

SALAZAR, Jorge. (1995). **Sunlighting Evaluation in Buildings. Building Research and Information**. Volume 23, Number 3, p. 182-187.