

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.

(1) Jorge Salazar; (2) Ader García; (3) Alexander González;

(4) Lucas Arango; (5) Natalia Giraldo

(1) Arquitecto, Msc. Profesor Titular. Escuela de Arquitectura.

Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. jhsalaza@unal.edu.co

(2) Arquitecto, Msc. Profesor Asistente. Escuela de Arquitectura.

Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. aagarcia@une.net.co

(3) Arquitecto, Msc. Profesor Asociado. Escuela de Arquitectura.

Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. bioclimarq@yahoo.com

(4) Arquitecto, Profesor Auxiliar. Facultad de Arquitectura

Universidad Pontificia Bolivariana Sede Medellín. lucas_arq@hotmail.com

(5) Arquitecta, Profesor Auxiliar. Facultad de Arquitectura

Universidad San Buenaventura Sede Bello. ngirald@hotmail.com

PVG Arquitectos Ltda. Calle 52 N 43-84 oficina 102-2. Edificio Playa Horizontal,
Medellín. COLOMBIA. Tel. (57) 4-5114656

RESUMEN

Este documento hace parte del informe final de la asesoría ambiental para la Torre de Oficinas del proyecto Centro Cívico de Antioquia, Plaza de La Libertad, ubicado en Medellín, Colombia y diseñada por la Oficina de proyectos Urbanos, OPUS. Se presentan aquí las alternativas arquitectónicas y opciones tecnológicas que fueron consideradas durante el proceso de diseño de la piel arquitectónica de la torre de oficinas. Se incluye una muestra del material gráfico utilizado como respaldo en el transcurso de las reuniones técnicas y que en su momento ayudaron a la toma de decisiones. En especial se describe el método de análisis mediante el cual se diseñaron las densidades y distribuciones óptimas de los elementos prefabricados según la orientación de cada una de las fachadas.

Palabras claves: Integración sol luz, ergonomía visual, piel arquitectónica.

ABSTRACT

This is part of the final informative paper of the Offices Tower Project Environmental assessment, Civic Centre of Antioquia, Plaza de la Libertad, located in Medellín and designed by Oficina de Proyectos Urbanos, OPUS. Here it is outlined a synopsis the architectonic alternatives and technological options which were considered during the design process of the architectonical skin of the Offices Tower. It is also included, a graphic material sample, used as an endorsement throughout technical meetings, which in addition helped during the decision-making process. It is specially described el analysis method wich allowed to design the densities and optimal distributions of prefabricated elements according to each facade orientation.

Keywords: Sunlight Integration, visual ergonomics, Architectonical Skin.

1. INTRODUCCIÓN

El equipo de arquitectos de la Oficina de Proyectos Urbanos OPUS se planteó el compromiso de lograr un sistema de fachadas que con una imagen unitaria permitiera responder de manera particular a los requerimientos de control solar e iluminación natural de cada una de las orientaciones y cada una de las diversas funciones estimadas en las plantas tipo. El propósito con respecto al lenguaje de fachada fue ubicar numerosos elementos verticales de modo tal que la estructura de soporte se mimetizara entre ellos y que en apariencia se tratara de un esquema de distribución completamente aleatorio (fig.1). El objetivo de una de las fases del asesoramiento ambiental fue ocuparse de lograr esta aparente aleatoriedad mediante la formulación y posterior aplicación de un conjunto de reglas que obedecen a la disponibilidad lumínica, las condiciones de acceso solar y los requerimientos ergonómicos estimados para las oficinas y zonas de circulación.

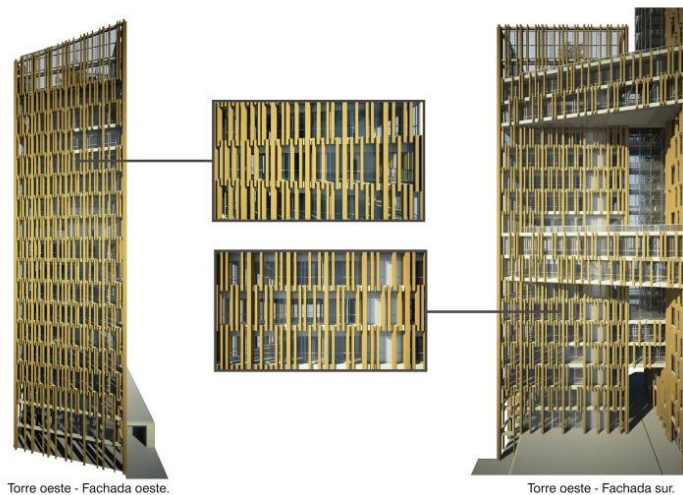


Figura 1 – Disposición de los elementos verticales en Fachada Oeste y Fachada Sur de la Torre de Oficinas Oeste. Proyecto Centro Cívico Plaza de La Libertad, Medellín.

Diseñar una fachada con elementos verticales dispuestos de manera tal que luzca como aparentemente aleatoria implica una reflexión que trasciende la localización desordenada de elementos idénticos piso a piso. Para determinar el abanico de opciones apropiadas para conciliar estos dos componentes: contexto ambiental y requerimientos ergonómicos, fueron considerados, entre otros, los requerimientos de control solar, la disponibilidad lumínica, las limitaciones estructurales, las dimensiones del vidrio, las dimensiones de los elementos prefabricados y su método de montaje.

Esta labor reclamó precisiones acerca del sistema de distribución de los puestos de trabajo, las zonas de archivo, las posibles salas de espera y la ubicación y dimensiones de los pasillos de circulación. No es posible asegurar que una vez las oficinas se encuentren

ocupadas el diseño interior efectivamente coincida con la propuesta final. No obstante, por tratarse de variables que tienen fuertes implicaciones en el diseño del sistema de envolventes, se decidió diseñar completamente el patrón de distribución de la planta tipo más apropiado en términos ergonómicos. Este patrón de distribución óptimo fue luego utilizado como punto de partida en el diseño de las secuencias y disposición de los elementos prefabricados en las fachadas.

2. OBJETIVO

Plantear alternativas arquitectónicas y opciones tecnológicas para el tratamiento de fachada durante el proceso de diseño de la Torre de Oficinas del Proyecto Centro Cívico de Antioquia, Plaza de La Libertad, Medellín, desde los componentes ambientales del interior que tienen implicaciones directas sobre las envolventes y la conformación arquitectónica general.

3. MÉTODOLÓGÍA

Para comenzar, se realizaron evaluaciones diagnósticas de las principales variables ambientales que podrán tener afectación sobre la ergonomía visual. Para ello se realizaron pruebas de la disponibilidad lumínica en la bóveda celeste, cálculos de la suficiencia lumínica en el interior y simulaciones de la ganancia solar en cada una de las fachadas de las dos torres del edificio de oficinas. En algunos casos este material fue acompañado de modelos a escala. Esto facilitó la interpretación de los diagramas de evaluación y ayudaron a juzgar las implicaciones de las decisiones arquitectónicas relacionadas con la envolvente arquitectónica de las oficinas y el sistema de accesibilidad vertical.

3.1 Ganancia solar.

La radiación solar directa es una de las principales causas de recalentamiento de una edificación. Este fenómeno se hace más intenso cuando el sistema de envolventes arquitectónicas deja expuestas las zonas adyacentes a las fachadas, en ocasiones por la necesidad de propiciar una iluminación natural abundante. En este caso los estudios de ganancia solar permitieron estimar la severidad de las condiciones de exposición solar y comparar el desempeño de las diferentes fachadas entre sí. Se evaluaron diferentes densidades y alternativas de disposición de los elementos verticales y que ayudan a reducir las cargas térmicas.

Se realizaron estudios comparativos entre la ganancia solar que tendría cada una de las fachadas en el caso de carecer de los dispositivos de sombra, lo que se denominó Estudio Diagnóstico. Seguidamente se evaluó el desempeño solar de varias distribuciones alternativas de los elementos de control solar. Estudios comparativos permitieron estimar el beneficio obtenido y determinar el número de elementos a partir del cual se comenzarían a generar pérdidas excesivas de iluminación natural.

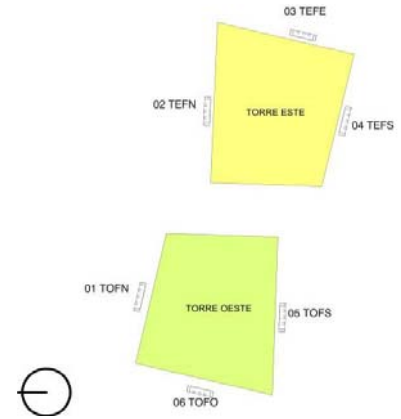


Figura 2 – Esquema torres de oficinas.

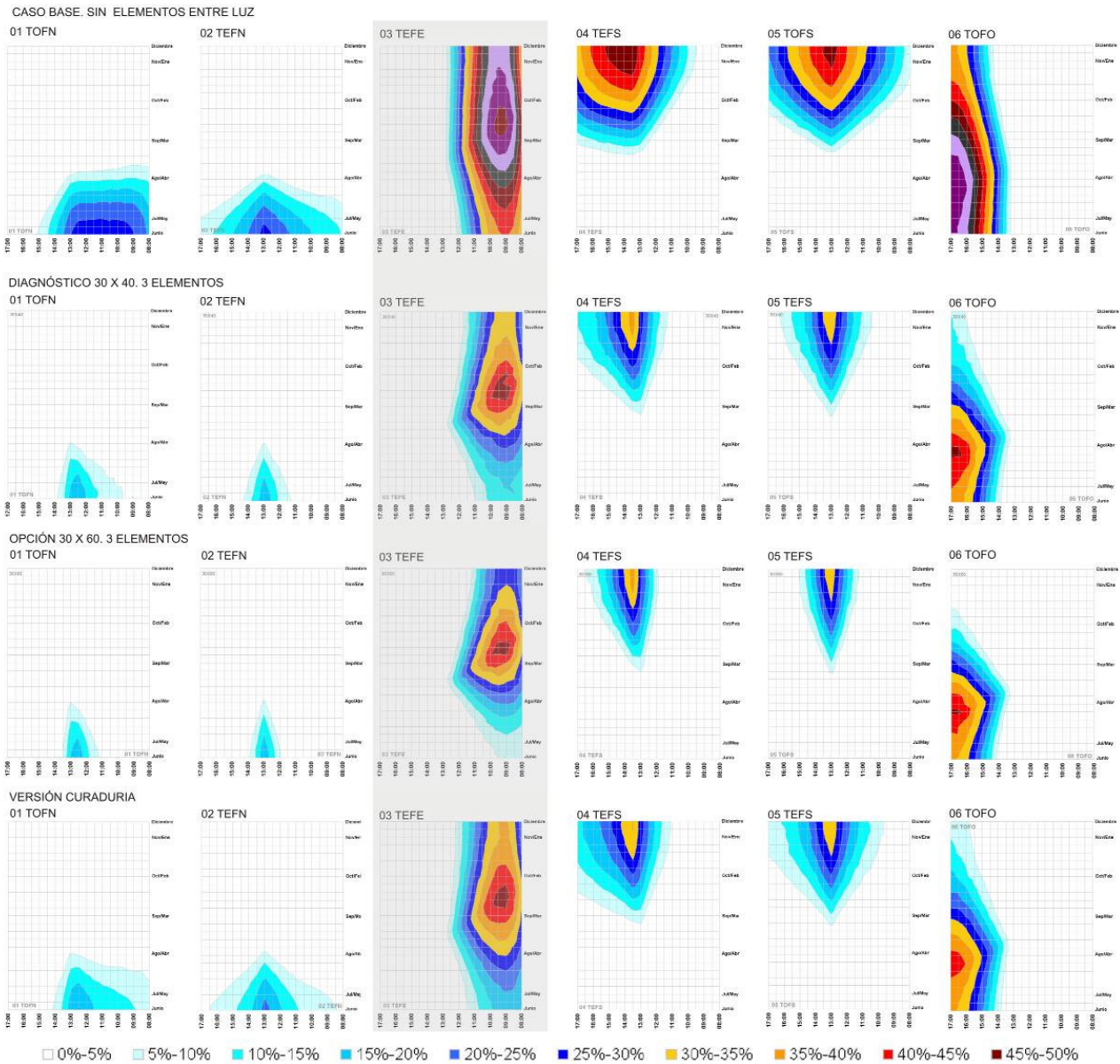


Figura 3 – Ganancia solar por radiación solar directa de 4 alternativas de fachadas: a) Sin elementos de control solar entre elementos estructurales, b) Con tres elementos de 30x40 centímetros entre luz, c) Con tres elementos de 30x60 centímetros entre luz, d) La opción arquitectónica del anteproyecto.

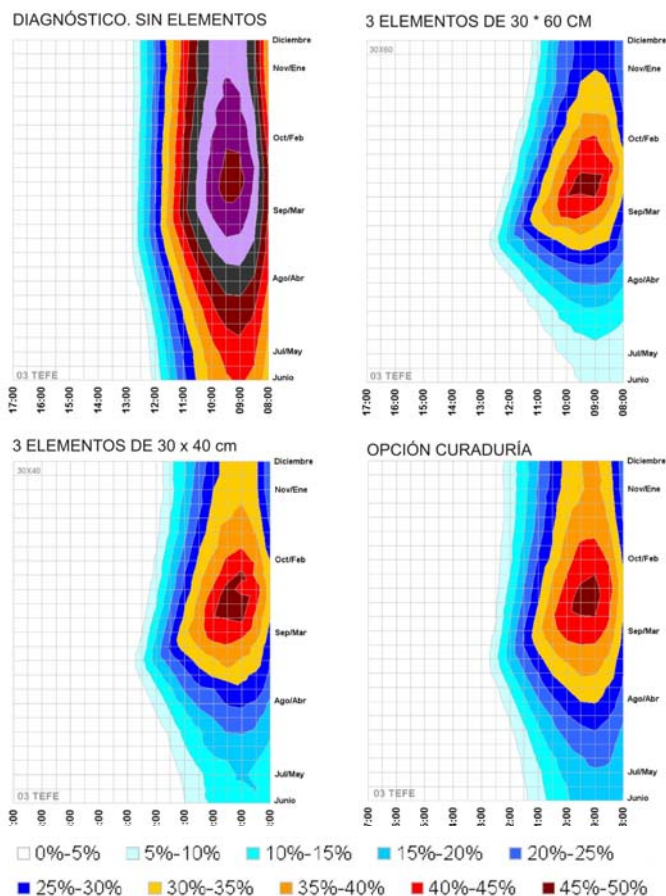


Figura 4 – Ganancia solar por Radiación directa. Torre de oficinas Este. Fachada Este.

azul representa valores de exposición solar que están dentro del rango de lo tolerable. De todas formas es conveniente darle una revisión detallada a las regiones identificadas con azules, considerando que de acuerdo al tipo de actividad que se vaya a desarrollar en la zona adyacente a la fachada afectada, esta radiación solar puede resultar o no excesiva.

En cada uno de los diagramas (Fig 3 y Fig 4) las abscisas corresponden a las diferentes horas del día, mientras que en las ordenadas se ubican los días del año: abajo los meses de mayo a julio y arriba el periodo comprendido entre noviembre a enero. La intersección entre una fecha y hora permite identificar, según el color de la mancha de color correspondiente, el grado de afectación solar que tendría una fachada y alternativa arquitectónica en una fecha y hora precisas.

La situación ideal es que nunca hubiera manchas de color diferente al blanco a ninguna fecha y hora. Se puede notar cómo a medida que se aumentan el número de elementos de fachada progresivamente las condiciones de ganancia solar van siendo atenuadas y por lo tanto la proporción que corresponde a las manchas de colores diferentes al blanco y azul se va haciendo menor. Es preciso resaltar que para la latitud geográfica de la ciudad de Medellín se trata de una situación imposible de lograr para todas las orientaciones, al menos con un nivel de inversión económica dentro de los rangos de lo razonable.

Los diagramas en los que es posible identificar la ganancia solar que se presentaría a una fecha y hora precisas resultan útiles para evaluar si por asuntos de horario y/o calendario alguna mancha de un color adverso puede ser considerada como poco relevante. Sin embargo, es conveniente tener además una valoración global de la Ganancia Solar por Radiación Solar Directa que totalizando las ganancias anuales para cada fechada, haga más fáciles las comparaciones entre ellas. En los diagramas de barras (Fig 5) que representan esta magnitud ya no es posible conocer a qué fecha y hora se presentarían determinadas condiciones de ganancia solar, pero de manera directa y precisa se puede identificar cual es la fachada/alternativa que presenta las mayores ganancias solares.

Para estimar las ganancias energéticas por radiación solar directa de cada una de las torres, se realizaron simulaciones que permitieron conocer con detalle las relaciones que se van a presentar entre cada una de las fachadas y la trayectoria solar en todas las fechas del año y todas las horas del día. Una vez construidas las torres, las ganancias solares serán menores a lo aquí predicho, especialmente porque los cálculos se realizaron asumiendo ausencia de nubosidad y sin considerar el factor solar del vidrio. Se trabajó de esta forma porque el interés se centra en conocer las relaciones de proporcionalidad entre el desempeño solar de las diferentes fachadas con sus diferentes alternativas arquitectónicas, propiedad que permanece aproximadamente inalterada cuando se evita simular una variable climática tan compleja como lo es la nubosidad.

Todos los diagramas resultantes del proceso de simulación representan, en escala cromática, los valores de ganancia por radiación solar directa expresada en porcentaje. Las manchas en color rojo y violeta representan condiciones de ganancia solar excesiva. Las zonas en color amarillo y naranja representan valores de exposición solar todavía elevados para un edificio de oficinas ubicado en Medellín, mientras que la gama de color

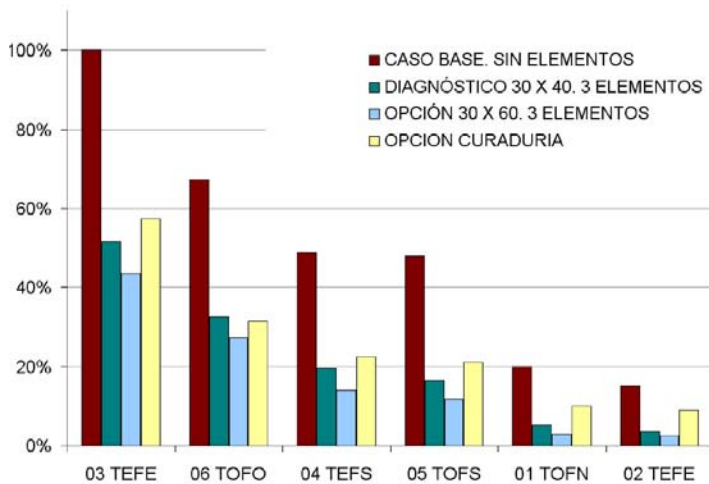


Figura 5 – Ganancia Solar por Radiación directa. Estudio comparativo por fachadas

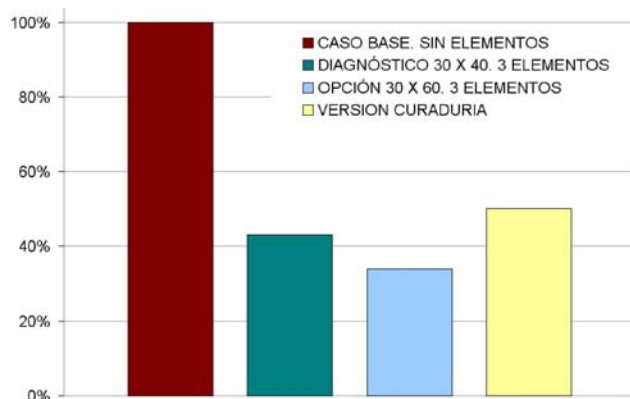


Figura 6 – Ganancia Solar por Radiación directa. Estudio comparativo edificio completo

Como es de esperar, un aumento progresivo en el ancho de los elementos de control solar da como resultado una disminución en la ganancia energética. En las cuatro alternativas, agrupadas en las abscisas según las diferentes orientaciones y fachadas, se puede notar de inmediato cómo el fenómeno adquiere valores cada vez menores a medida que aumenta la profundidad de los elementos. También se nota que idénticas modificaciones geométricas tienen efectos diferentes de acuerdo a la orientación de cada fachada.

La familia de barras granate presenta los valores de ganancia solar más elevados, situación razonable dado que representan la ganancia solar que tendría un edificio estriado verticalmente por sus elementos estructurales pero sin ningún elemento adicional capaz de proyectar sombra sobre las ventanas. Le siguen con una menor ganancia por radiación solar directa las alternativas representadas en amarillo, verde y finalmente azul, que es precisamente el que representa el desempeño solar de un edificio con los dispositivos de control solar de mayor profundidad. No obstante, no se trata de una relación lineal y cada vez se obtendrá un menor beneficio solar como resultado de un elemento más profundo. Por su parte, a medida que el sistema de control solar se hace más robusto las posibilidades de aprovechamiento lumínico van disminuyendo, por lo que no necesariamente un

ancho excesivo o un elevado número de elementos de control solar resultan siendo la mejor opción.

En la torre este – fachada este (codificado TEFE) y en la torre oeste – fachada oeste (codificado TOFO) se alcanzan los máximos valores de ganancia solar, motivo por el cual se recomendó incluir, además de los dispositivos verticales en fachada, una repisa horizontal, que no encareciera excesivamente el costo de las fachadas y que se camuflara en la “aleatoriedad” de la disposición de elementos. La repisa contribuiría a menor ganancia solar durante todo el año e implicaría una inversión más razonable que aumentar el espesor o número de dispositivos verticales de control solar.

3.2 Disponibilidad lumínica.

En la primera fase de los estudios de iluminación se realizaron evaluaciones sobre la disponibilidad lumínica en Medellín y se comprobó la suficiencia lumínica de la planta libre del edificio de oficinas. Considerando la suficiencia lumínica en la planta libre de la torre de oficina, en una segunda fase del estudio se trabajó en verificar la eficiencia en el control solar y su estrecha relación con la iluminación natural del sistema de cerramiento vertical, constituido por elementos prefabricados de concreto. En esta segunda fase de la evaluación fueron analizados simultáneamente alternativas de división de oficinas que aunque no corresponden con el diseño final de estos espacios, permitieron establecer el comportamiento esperado de las condiciones de iluminación natural ante diferentes sistemas de acabados y amoblamiento, factores altamente determinantes en la distribución lumínica interior. Los resultados obtenidos en estas pruebas (Fig7) permitieron establecer las áreas de uso de iluminación natural en cada una de las torres, de acuerdo a cuatro criterios: área con posibilidades de sobreiluminación, área con suficiencia lumínica total (100% luz natural),

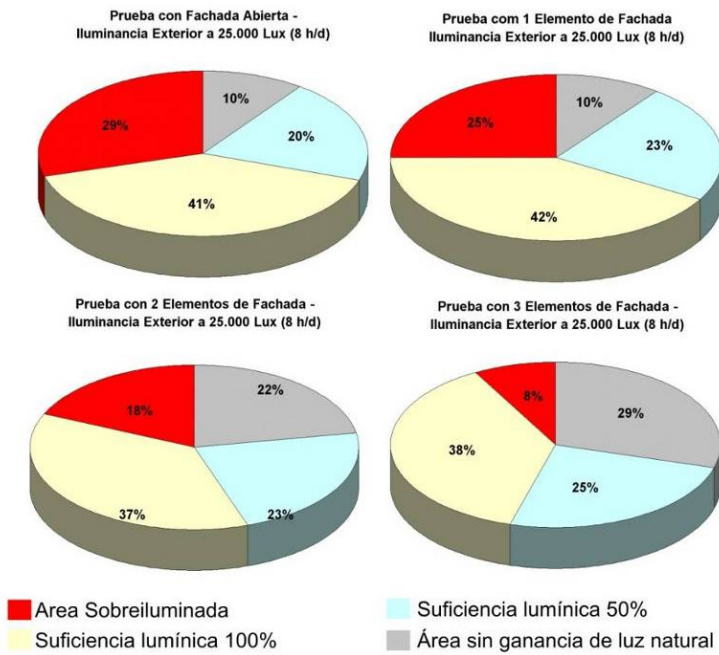


Figura 7 – Suficiencia lumínica Torres plaza de la Libertad

área con suficiencia lumínica parcial (50% de luz natural + refuerzo artificial) y áreas sin ganancias de luz natural significativas. El estudio de los factores de distribución lumínica permitió la definición de las suficiencias lumínicas que pueden ser aprovechadas en las torres. Esta información constituye base de trabajo para el diseño de los espacios de oficina finales y por esta razón en la etapa de Arquitectura Interior será muy conveniente considerar los acabados y la disposición de los puestos de trabajo en la definición de un adecuado ambiente lumínico interior.

Las áreas de suficiencia lumínica constituyeron la base durante el diseño del sistema de iluminación conjugado, donde se integraron los circuitos de iluminación artificial en función del uso de la luz natural en el sistema de iluminación interior de las oficinas.

3.3 Pielés.

Un excesivo número de elementos prefabricados dispuestos entre las luces estructurales da como resultado una menor ganancia de radiación solar, pero también a la vez un menor aprovechamiento de la luz natural. Definir el número adecuado de prefabricados entre cada una de las luces, al igual que determinar los criterios de ubicación de los elementos, permitió que la iluminación natural no se subordinará a la necesidad de generar sombras al interior, sino que ambas variables fueron trabajadas de manera simultánea.

En la investigación que respalda el diseño de los patrones de distribución de los elementos prefabricados se tomó una luz típica de 2.00 metros, la cual fue dividida en 14 espacios de 0,14 metros aproximadamente (A). El ancho de las subdivisiones corresponde al ancho aproximado de los elementos prefabricados, establecido preliminarmente mediante un predimensionamiento estructural. La distancia mínima entre prefabricados (B) o entre un elemento prefabricado y la columna contigua, está definida en función del montaje, mientras que la dimensión máxima está dada en función de las dimensiones comerciales del vidrio escogido. Para el estudio de las diferentes alternativas de distribución se definió un sistema de codificación que consiste en dos mayúsculas “T” y “C”, y dos subíndices “x” y “y”. La sigla TxCy resume en términos de iluminación natural e incursión solar el número de elementos prefabricados y su ubicación en la sección de fachada escogida.

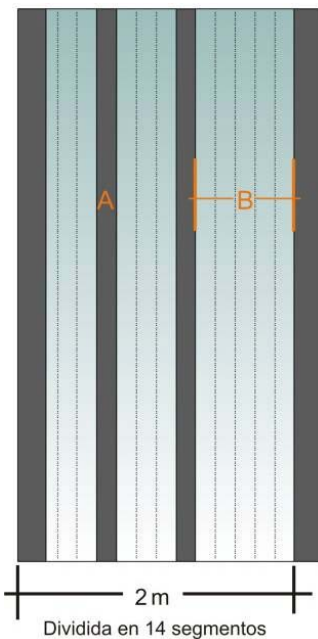


Figura 8 – Disposición de elementos verticales entre luces estructurales.

“Tx” corresponde a la transparencia y está en función de las posibilidades de aprovechamiento de la iluminación natural. T1 indica que no hay elementos prefabricados entre columnas y por lo tanto el vano de 2.00 metros se puede observar de una sola pieza. T5 indica que hay 4 elementos prefabricados entre columnas y que por lo tanto el vano de 2.00 metros se observa desde el interior fragmentado en cinco partes. Como resulta evidente, entre más elementos prefabricados se ubiquen entre columnas progresivamente se hace menor la transparencia y las posibilidades de aprovechamiento de la iluminación natural.

“Cy” está definida como la célula y está en función de la incursión solar. Se refiere al número máximo de celdas continuas de 0.14 metros sin prefabricado que aparecen en un módulo de fachada. A su vez este conjunto de celdas vacías y continuas debe aparecer al menos una vez en la sección de fachada. Hablar de C5, es decir que entre 2 prefabricados o entre 1 columna y 1 prefabricado, hay 5 segmentos vacíos de 0.14 metros, es decir, 0.70 metros entre prefabricados. Hay una relación directa entre esta magnitud y las posibilidades de que los rayos solares ingresen al edificio por entre los

elementos. Distancias pequeñas (valores de “y” reducidos) se corresponden con altos niveles de sombreado. Contrariamente, distancias grandes se corresponden con mayor exposición solar.

A continuación se ejemplifica la combinación: T3C4 se debe leer, T3 se refiere a que 2 de los 14 segmentos están ocupados por prefabricados y 1 por la columna; entonces quedan 11 segmentos disponibles, de los cuales, según el código C4, tienen que estar agrupados en conjuntos de hasta máximo 4 segmentos vacíos. C4 indica también que en la sección de fachada debe existir al menos 1 conjunto de 4 segmentos vacíos. Cada nomenclatura puede corresponder a varias alternativas de distribución, pero todas ellas compartirán un mismo desempeño solar y una misma condición de aprovechamiento lumínico, que se identificarán con un letra en minúscula por cada opción.

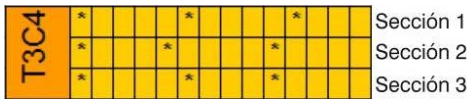
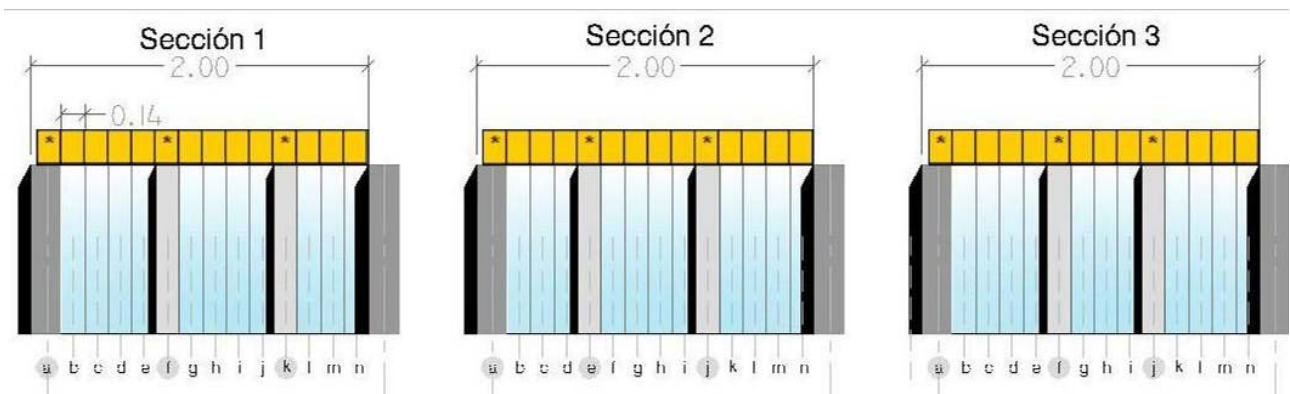


Figura 9 – Combinación T3C4.



En la sección 1 de la propuesta T3C4, “a” representa la columna, “f” y “k” son segmentos donde se ubican los prefabricados. Se conforman 3 opciones diferentes para ubicar los segmentos vacíos: (b,c,d,e) (g,h,i,j) (l,m,n). En este ejemplo hay dos conjuntos de 4 segmentos y uno de 3. A continuación se presentan las 40 posibles combinaciones de que se dispondría para el diseño de las fachadas si se considerara una separación mínima entre elementos de 0.14 metros.

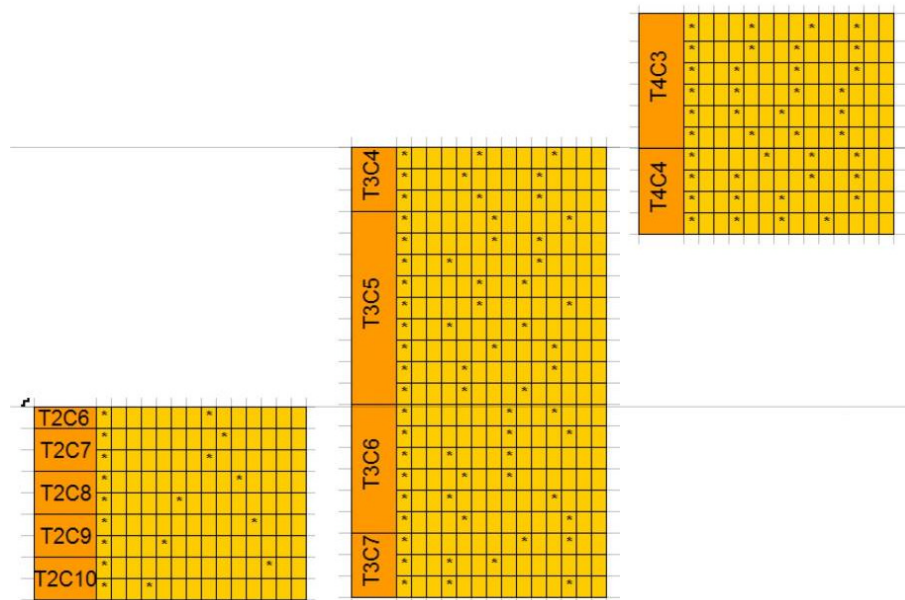


Figura 10 – Análisis de los elementos de la envolvente. 40 posibles combinaciones. Separación mínima de un segmento (14 cm).

La división de la luz estructural en 14 segmentos iguales y las condiciones requeridas de aprovechamiento lumínico y control solar, restringen el número de combinaciones que pueden satisfacer simultáneamente ambas condiciones (Fig 10). Por ejemplo, T1C1 indica que se requiere una columna con 13 espacios vacíos, pero a la vez exige que haya espacios de máximo 1 elemento de ancho, doble condición imposible de satisfacer. La primera tabla resume el número de combinaciones posibles para cada pareja de indicadores de transparencia y sombreado. T (1-5) se determina en función de los requerimientos

lumínicos del espacio, entre más cercano a 1 más altos los niveles de iluminación natural al interior. Por su parte C, con valores de 1 a 11, se determina en función de las exigencias de control solar. Entre más cercano los valores a 1, mayor el factor de sombra. La siguiente tabla detalla todas las alternativas de combinación posibles para un módulo básico de 0.14 metros y 2.00 metros entre luz. Las casillas vacías indican la imposibilidad de llevar a cabo esa combinación bajo las condiciones dadas.

| | | TRANSPARENCIA | | | | |
|-------------------------|-----|---------------|----|----|----------|----|
| | | luz | | | penumbra | |
| CÉLULA sombra sol | | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 |
| | C1 | | | | | |
| | C2 | | | | | |
| | C3 | | | | 6 | |
| | C4 | | | 3 | 4 | |
| | C5 | | | 9 | | |
| | C6 | | 1 | 6 | | |
| | C7 | | 2 | 3 | | |
| | C8 | | 2 | | | |
| | C9 | | 2 | | | |
| | C10 | | 2 | | | |
| C11 | | | | | | |

Tabla resumen de posibles combinaciones.

T (1-5) se determina en función de los requerimientos lumínicos del espacio, entre más cercano a 1 más altos los niveles de iluminación natural al interior.

C (1-11) en función de las exigencias de control solar, entre más cercano los valores a 1 mayor el factor de sombra

4. RESULTADOS Y APLICACIONES

Disponer de 40 alternativas para la ubicación de los elementos prefabricados resulta más que suficiente para que en cada uno de los pisos se logre una imagen de aleatoriedad. Al considerar que con un conjunto más sencillo de alternativas bien podrían obtenerse resultados igualmente eficaces, se decidió restringir su número y utilizar exclusivamente aquellas opciones que pudieran ofrecer ventajas en su mantenimiento y limpieza, restringiendo la separación mínima a 0.42 metros, es decir tres módulos entre un prefabricado y el siguiente.

Con esta restricción adicional las posibilidades de combinación se redujeron a trece (Fig 11), cada una de las cuales se representó gráficamente a manera de bloques (Fig 12). Finalmente utilizando este conjunto de imágenes a manera de alfabeto, se configuraron todas las fachadas “redactando” frases aleatorias y seguidamente realizando su transcripción gráfica.

En el proceso de redacción se agregaron algunas restricciones de tipo gramatical, como por ejemplo utilizar predominantemente el tipo de combinaciones más favorables para las condiciones de uso y de exposición solar de la orientación de cada una de las fachadas y asegurar densidades apropiadas para el tipo de actividad que ocurre detrás de cada segmento de fachada. Como se puede verificar en el esquema comparativo de densidad (Fig 13), al igual que en el diseño de fachadas definitivo, el nivel de aparente aleatoriedad resulta plenamente satisfactorio para las condiciones de diseño establecidas.

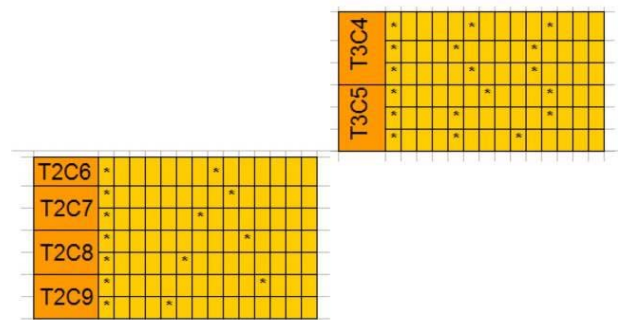


Figura 11 – Combinaciones de los elementos de la envolvente Separación mínima 0.42 m.



Figura 12 –Combinaciones utilizadas en el diseño definitivo.

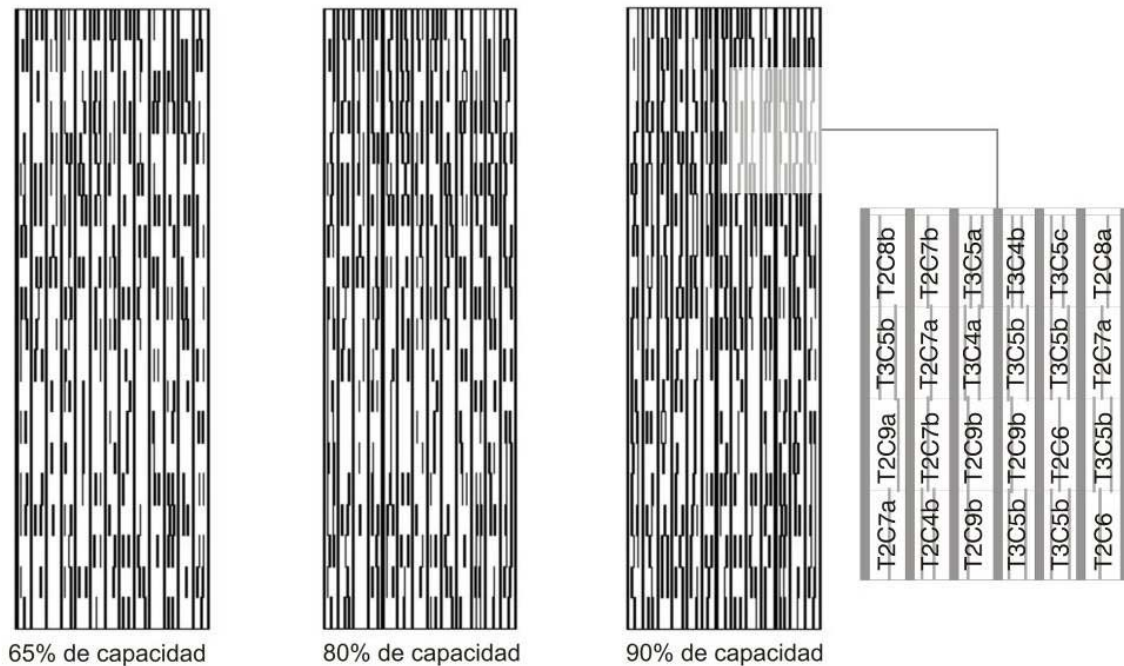


Figura 13 – Modulación de fachadas con diferentes densidades.

5. CONCLUSIONES

Homogenizar la solución de fachada para aplicarla indiscriminadamente en todas las orientaciones de una edificación es una técnica que da como resultado fachadas sobreprotegidas y en las que se presenta exceso de inversión y menor aprovechamiento lumínico. Por este motivo el sombreado excesivo nunca es la mejor alternativa a aplicar. Para fachadas con elementos verticales la situación de diseño ideal es aquella en la que todas las barras son pequeñas y de dimensión similar, separadas de manera que las fachadas con mayor cantidad de elementos son a la vez las que mayor control solar requieren.

En el edificio de oficinas se balancearon la densidad de elementos por cada orientación, de manera que las inversiones necesarias para lograr el control solar de cada fachada se mantengan en el rango óptimo. La intensidad de control solar es diferente para cada una de ellas, pero esta condición de diseño no es para nada evidente. No sólo es difícil notar este cambio en la densidad de sombra para cada fachada, sino que además el mismo número de elementos distribuidos de manera homogénea por todo el edificio hubiera dado como resultado igual inversión económica, pero con un desempeño solar notoriamente inferior.

En el proyecto final, gracias al método de agrupación de los elementos, las fachadas occidente y oriente presentan una mayor densidad de elementos, se logró aplicar una opción más económica y sencilla que diseñar elementos de diferente dimensión para cada una de las fachadas.

Se recomendó también una disposición del mobiliario que propicia que los puestos de trabajo ubicados hacia el oriente y el occidente estén acompañados de un esquema de circulación hacia el borde de fachada. Esto permite



Figura 14 – Fotografía del avance de las obras a junio de 2009. Fachada norte.

aprovechar los pasillos como mitigadores de las condiciones solares adversas para labores de oficina pero compatibles con la circulación y/o espera.

Las zonas con un mejor nivel de control solar, ubicadas al norte y al sur de las torres, aprovecharán al máximo las condiciones de iluminación natural y por este motivo los puestos de trabajo se ubicarán predominantemente allí. Los esquemas de distribución de los sistemas de alumbrado artificial, de rutas de evacuación y su correspondiente conjunto de luminarias de emergencia, fueron diseñados a partir de un patrón de ordenamiento de puestos de trabajo que responde a las conclusiones generadas en los análisis de iluminación natural.

6. REFERENCIAS

- ABNT/NBR 15215-1. **Iluminação natural – Parte 1: Conceitos básicos e definições.** 2005
- ABNT/NBR 15215-2. **Iluminação natural – Parte 2: Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural.** 2005
- ABNT/NBR 15215-3. **Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos.** 2005.
- ABNT/NBR 15215-4. **Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações - Método de medição.** 2005
- ARZOUMANIAN, VAROUJAN. **Sol y Arquitectura.** Editorial Gustavo Gili, Barcelona, 1990, pp. 21-22.
- ASHRAE. **Cooling and Heating Load Calculation Manual.** New York USA, SA, pp. 3-25/3-51 A3.9/A3.11.
- BAASE, Sara. **Algoritmos computacionales: introducción al análisis y diseño.** México, D.F, Pearson Educación, 2002, Segunda Edición, 686 p.
- GONZÁLEZ, A.; GARCIA, A.; SALAZAR, J. **Labor Cero. Arquitectura a la medida.** Argos S.A. Medellín. ISBN 958-97871-0X2006.
- MELGUIZO Bermudez, Samuel y Octavio Uribe Toro. **Asoleamiento, Teoría General y Diagramas.** Universidad Nacional de Colombia, Seccional Medellín, Facultad de Arquitectura, 1987, Medellín, 54 p.
- SALAZAR, JORGE HERNÁN. **Sunlighting Evaluation in Buildings.** Building Research and Information, May/June 1995, Volume 23, Number 3, p. 182-187.
- SALAZAR, JORGE HERNÁN. **Solar Performance and Shadow Behaviour in Buildings. Case Study with Computer Modelling of a Building in Loranca, Spain.** Building and Environment, London, 1998, Vol 33, Nos 2-3 pp. 117-130.
- SALAZAR, Jorge y Alexander González. **Luz Natural en la Arquitectura.** O-I Peldar. Medellín, 2001, 120 p. Envigado, Colombia. 2004.
- YÁÑEZ, Guillermo. **Arquitectura Solar. Aspectos pasivos, bioclimatismo e iluminación natural.** Centro de Publicaciones. Secretaría General Técnica, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, Madrid, 1988, 192 p.

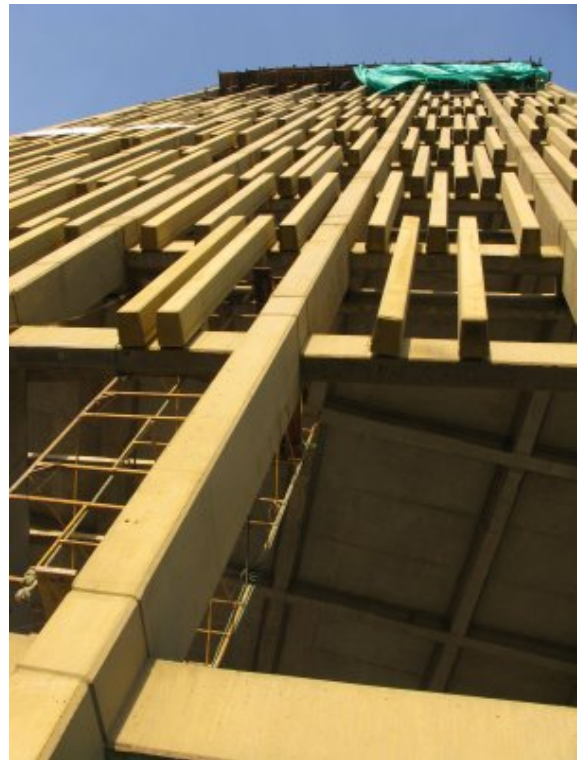


Figura 15 – Fotografía del avance de las obras a junio de 2009. Fachada occidental y detalle.