DOI: <http://dx.doi.org/10.4995/LC2015.2015.923>

Brise-soleil: principios y transformación en la obra de Le Corbusier

S. Morel Corrêa, R. Anzolch, R. Pedrotti

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Resumen: La actitud de Le Corbusier respecto a la superficie epidérmica de sus edificios cambió en los años 20, cuando se percató de los problemas producidos al construir membranas de escaso espesor con amplias zonas acristaladas. Durante la década de 30, Le Corbusier trabajaba principalmente en países cálidos, y la invención del brise-soleil parecía ser la respuesta a los problemas de ganancia de calor. El brise en la obra de Le Corbusier jugó dos funciones importantes: una como elemento de adaptación al clima y la otra como elemento de composición de fachada. El objetivo del trabajo es rescatar la importancia que Le Corbusier daba a este elemento, para tanto aborda la evolución y la transformación del brise-soleil, en su propia obra. La metodología del trabajo consiste en analizar las obras elegidas por su relevancia en el tema desde un punto de vista medioambiental con base en los estudios de Almodovar, D. Siret y Requena, teniendo en cuenta la orientación y la protección solar en los solsticios de invierno y verano (Le Corbusier defendió que por lo menos hubieran dos horas de penetración solar en el invierno). Del mismo modo, desde el punto de vista arquitectónico se consideran aspectos como la forma arquitectónica, la integración al conjunto, la inserción en la fachada y la importancia en la composición.

Abstract: Le Corbusier attitude on the epidermal surface of buildings changes when he realises, in the 1920s, that the problems caused by membranes of insufficient thick with large glazed areas. During the 1930s decade, Le Corbusier worked mainly in warm countries, and the invention of the brise-soleil seemed to be the answer to the problems of heat gain. The brise-soleil, in the work of Le Corbusier, played two important roles: one as an element of adaptation to the climate and the other as an element of composition of facade. The aim of this paper is to rescue the importance that Le Corbusier gave to this element, so it treats the evolution and transformation of the brise-soleil, in his own work. The methodology of the work consists of an analysis of works chosen for their relevance on the issue from an environmental point of view, based on the studies of Almodovar, D. Siret and Requena, considering the solar orientation and solar shading in the winter and summer solstice (Le Corbusier argued that there were at least two hours of solar penetration in winter). In the same way, from the architectural point of view, it treats aspects such as the architectural form, integration in the whole, insert on the facade and compositional importance.

Palabras clave: protección solar; brise-soleil; Le Corbusier.

Keywords: solar shading; brise-soleil; Le Corbusier.

1. Introducción

El brise en la obra de Le Corbusier jugó dos funciones importantes: una como elemento de adaptación al clima y la otra como elemento de composición de fachada. En Brasil, a pesar de no haber sido el pionero, el Ministerio de Educación y Salud, contó con la asesoría de Le Corbusier; fue sin duda una de las obras más emblemáticas en relación al empleo del brise-soleil. Si al principio su preocupación se centra principalmente a las limitaciones térmicas, en sus últimas obras, extendió el alcance a los aspectos lumínicos. Por un lado, el brise destruye el sentido de la forma cúbica de las primeras casas, por el otro, Le Corbusier aprovechó la profundidad dimensional del artificio para exhibir los elementos funcionales del interior, como en el edificio de Argel y en otras obras del postguerra, donde en algunos momentos es el tratamiento superficial que da sentido a la forma. El brise soleil fue, desde sus inicios, un elemento compositivo de calidad reconocida en nivel mundial, tuvo su auge en los años 40 hasta los 70, cuando cae en desuso. Hoy vuelve a ser aplicado, sin embargo, de una forma diferente de la fue

utilizada en el pasado.

El objetivo del trabajo es rescatar la importancia que Le Corbusier daba a este elemento, para tanto aborda la evolución y la transformación del *brise-soleil*, en su propia obra. De esta manera, se busca entender su complejidad a través del análisis de diferentes tipos de *brises* y su efecto en el exterior y el interior de los edificios. El estudio presenta la experiencia de Argel, con los edificios de Ponsik y el rascacielo 'biológico' del barrio de la Marina, pasando por el Ministerio de Educación en Rio de Janeiro, la Unidad de Habitación de Marsella, las obras en India: el Secretariado, en Chandigarh, el Edificio de la Asociación de Hilanderos en Ahmedabad - y finalmente el Centro Carpenter para Artes Visuales en Cambridge, Massachussets.

La metodología del trabajo consiste en analizar las obras, elegidas por su relevancia en el tema, desde un punto de vista medioambiental, con base en los estudios de Almodovar¹, D. Siret² y I. Requena³, teniendo en cuenta la orientación y la protección solar en los solsticios de invierno y verano (Le Corbusier defendió que por lo menos hubieran dos horas de penetración solar en el invierno⁴). Del mismo modo, desde el punto de vista arquitectónico se consideran aspectos como la forma, la integración al conjunto, la inserción en la fachada y la importancia en la composición.

El análisis ambiental fue desarrollado a través del software Energyplus⁵, considerando el efecto de la temperatura exterior y teniendo en cuenta los intercambios de aire a través de la ventilación natural. Se consideró un cambio de aire por hora en el período de invierno y cinco cambios horarios en el período de verano. Los mapas de iluminación fueron hechos para todos los horarios en los solsticios de invierno y verano con cielo despejado. En el análisis lumínico se consideran las relaciones entre los valores de iluminancias mínimas, medias y máximas. Las simulaciones fueron elaboradas con los archivos climáticos del tipo IWEC (International Weather for Energy Calculation), configurados en formato "EPW" (EnergyPlusWeather). Para Argel y Marsella fueron utilizados datos IWEC generados pela American Society of Heating Refrigeration and Air conditioning Engineers, en cuanto que para Dehradun (que representa el clima de Chandigard) y Ahmedabad, los archivos IWEC utilizados son los disponibles de la Indian Society of Heating Refrigeration and Air conditioning Engineers. La excepción fué para Rio de Janeiro, donde fué utilizado archivo de tipo SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment).

2. La evolución del brise-soleil – La experiencia de Argel

A los finales de los años 20, Le Corbusier se ocupa del tema del sombreado, aproximándose instintivamente a la solución teniendo en cuenta el sol, como se constata en los primeros estudios de 1928, para Cartago⁶. En 1930, en el diseño del edificio Clarté, Ginebra, demostró una especie de transición al nuevo enfoque en relación al *pan de verre* y su protector solar. En este edificio la losa a medios pisos se extendía más allá de la línea de la fachada de vidrio, creando una solución que permite el paso de la luz del sol del invierno y evitando la radiación alta en el verano. Poco después, en 1933, en otro proyecto residencial que no se construyó, en Barcelona, la intención del parasol se hizo más evidente: la planta superior estaba protegida por profundas terrazas y el piso intermedio por venezianas horizontales pivotantes de hormigón.

¹ Almodóvar, J. M., 2004.

² Siret, D., 2002.

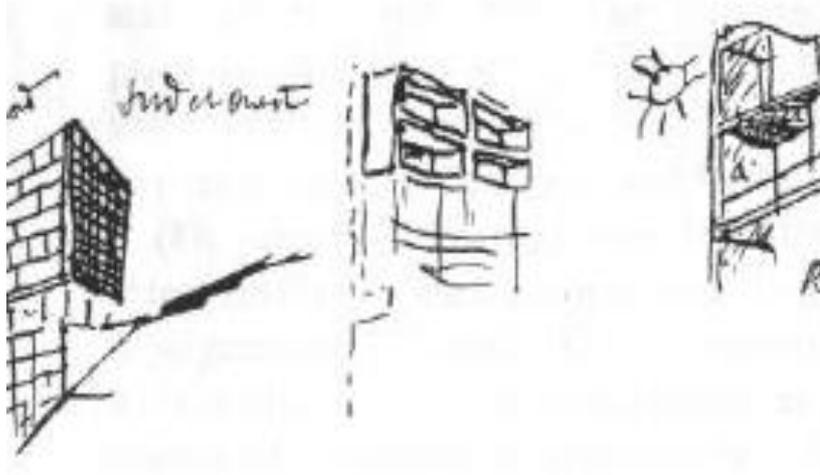
³ Requena Ruiz, 2011, pp. 215.

⁴ Le Corbusier, 1993.

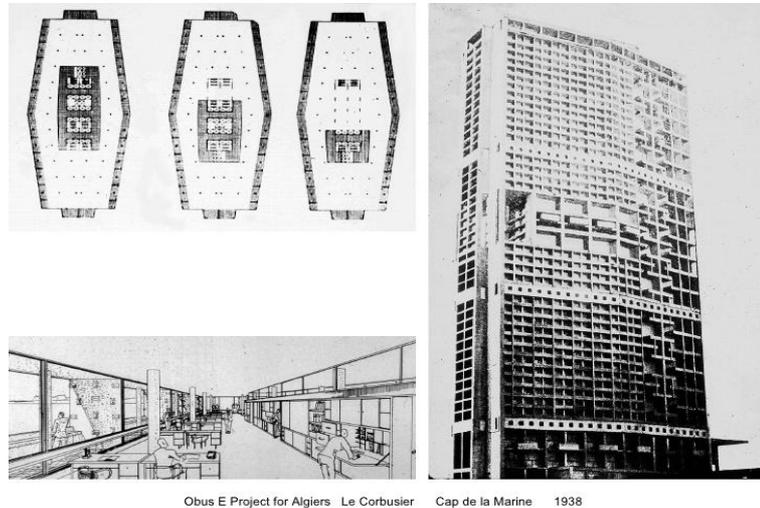
⁵ U.S. Department of Energy, EnergyPlus Energy Simulation Software.

⁶ Le Corbusier, 1946, p. 108.

En el periodo de 1930-38, Le Corbusier desarrolló una serie de estudios para Argel, incluyendo el edificio de viviendas de Ponsik. En este proyecto, cada una de las fachadas fue correctamente tratada, dependiendo del tipo de insolación recibida: para el lado norte, poco expuestos a la luz solar directa, diseñó grandes paneles de vidrio; para el este con pocas aberturas y para el sur y oeste diseñó *brise-soleils*. En la fachada oeste, donde la radiación solar tenía bajos ángulos de incidencia e intercepción más difícil, Le Corbusier diseñó lamas verticales u oblicuas⁷. És posible ver en estos bocetos que el elemento está diseñado como una adición al paño de vidrio. (Fig. 1)



1. Estudios para los apartamentos de alquiler de Ponsik.



Obus E Project for Algiers Le Corbusier Cap de la Marine 1938

2. Rascacielos del *Quartier de la Marine*. En las oficinas: estructura de hormigón, *pan de verre* integral, *brise-soleil* en loggia.

Continuando con esta investigación, el arquitecto realiza entre 1938 y 1939 un plan de desarrollo para el distrito de la Marina, que aporta una nueva solución constructiva y estética del rascacielos destinado a oficinas comerciales. El rascacielos del *Quartier de la Marine* no es como en América, de forma accidental. Es un verdadero elemento de biología que contiene con precisión órganos específicos: una estructura independiente, un

⁷Le Corbusier, 1946, op.cit., p. 105.

recipiente totalmente acristalado con el *brise-soleil* diseñado para disminuir la ganancia térmica, en las horas calientes y por lo contrario, permitir la entrada de la luz del sol en invierno; un sistema de circulación vertical, un sistema de distribución de peatones y automóviles al lado de los rascacielos y el aparcamiento de coches⁸.

El *brise-soleil* se utiliza en forma de una *loggia*, elemento arquitectónico tradicional reintroducido en la arquitectura moderna. Su expresión regular aparece en dos quintas partes de las fachadas. En el diseño de los *brises* de la fachada, de acuerdo con el propio arquitecto, alternó ritmos y diferentes espaciamentos, generando una jerarquía inspirada en los fenómenos naturales en una analogía con el pino⁹ (fig. 2). Diversas escalas de distribución, con la multiplicación infinita del sistema hasta los extremos exteriores. Utiliza la sección aurea, para producir la envoltura armoniosa del prisma puro y marcado el ritmo proporcional con la escala humana. Así se logran variaciones, con libertad compositiva, estableciendo un principio de composición de abajo hacia arriba. Este rascacielos marca un cambio hacia la plasticidad, el desarrollo maduro de la fachada con textura y enfáticamente proporcionado, hecho posible por el uso del *brise-soleil* totalmente integrado en un esqueleto de hormigón armado.

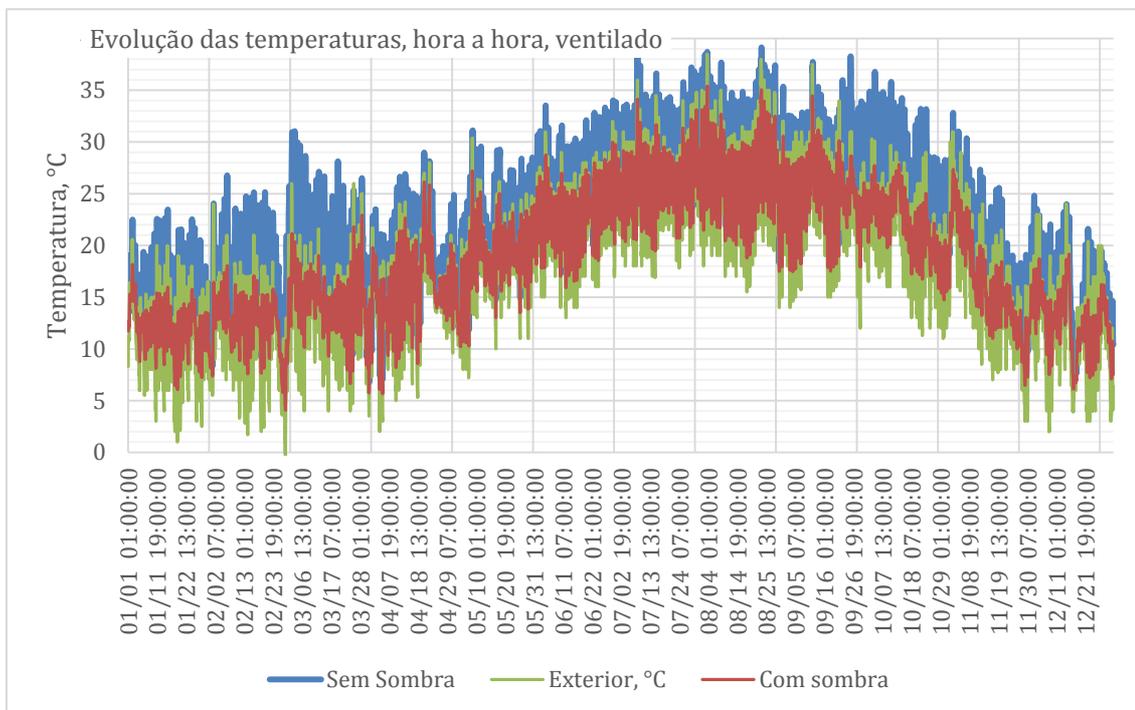


Tabla 1. Argel: Desempeño anual del *brise-soleil* (en rojo) a través de las temperaturas internas en la habitación, comparado al desempeño de la fachada sin los brises (en azul) y las temperaturas del ambiente exterior (en verde).

Argel está localizada en la latitud 36° 46' N y longitud 3°3' E. El clima es mediterráneo templado con la estación seca en verano, inviernos suaves y días lluviosos. La proximidad al mar Mediterráneo, influye en la moderación de las temperaturas de la ciudad, siendo las máximas promedio de 31° y mínimas promedio de 11°¹⁰.

Analizando el gráfico de temperaturas anuales, se observa que *el brise* mitiga el efecto de las altas temperaturas tanto en el verano como en invierno. En el verano, es francamente favorable; sin embargo, el efecto de sombreado, no garantiza el suministro solar deseable en el invierno, produciendo una reducción de 5 a 10 grados, entre lo sombreado y lo no sombreado (Tabla 1).

⁸ idem, p.50.

⁹ ibidem, p.62.

¹⁰ (<http://worldweather.wmo.int/en/city.html?cityId=242>)

El efecto de los *brise-soleil*, de acuerdo con los mapas de iluminación natural, sería apropiado en las habitaciones, sin divisiones internas, (que corresponden a los locales de la gran administración), excepto en las primeras horas de la mañana, cuando las relaciones de iluminancia para el 21/6 a las 08:00h son de 128-401-1887 lux y para las 16:00h son de 433-1345-5756 lux. Para el 21/12, las relaciones son de 61-240-884 lux a las 8:00h y 325-1579-11334 a las 16:00h.

3. El Ministério de Educación y Salud

El caso del MES asume relevancia por el hecho de que allí fue la primera obra terminada e inaugurada en 1943, con la implementación del *brise-soleil*. Aunque Le Corbusier no participó directamente en el proyecto, fue nombrado como asesor por el promotor, el Ministro Gustavo Capanema¹¹. El Ministerio es una aplicación pionera de la "planta y fachada libre" en un edificio de oficinas en altura así como por las varias innovaciones y mejoras técnicas. Son notables las losas-hongo forradas con material aislante en su cara inferior, los *brises* de control manual, que se alejan de la fachada para permitir la circulación del aire y se calibran dimensionalmente para evitar la sensación de rejilla; también se destacan las aberturas que garantizan la ventilación cruzada en los paneles divisorios del piso tipo¹². La fachada NNO, diferentemente de los otros edificios de Le Corbusier, tiene sólo un tipo de solución para *el brise*, que se aplica en toda su área, estableciendo un tratamiento superficial sin interrupciones (fig. 3). Aunque le Corbusier había preferido el uso de placas fijas¹³, el equipo de arquitectos brasileños, encabezados por Lucio Costa, optó por elementos móviles como puede verse en el memorial del proyecto:

*"[...] Verificamos que la adopción de placas fijas, si bien podría resolver el problema de la asoleación, sería menos satisfactorio en lo concierne a la iluminación, pues, habiendo sido calculada para días claros, resultaría, por fuerza, deficiente en los sombríos, obligando el uso de luz eléctrica en horas que otros prédios podrían dispensarla. [...] Además de esto, consideramos que siendo la dirección de los rayos solares variable en relación a la fachada, el mejor sistema de evitarlos debería ser móvil. Con esas razones y basados en experiencias con los mejores resultados en el edificio de la Obra do Berço, en la Laguna Rodrigo de Freitas, donde, debido a la orientación, fue adoptado el tipo vertical, decidimos emplear también un proceso semejante que garantice a cualquier hora del día, disposición adecuada a las necesidades do trabalho."*¹⁴

El proyecto del *brise-soleil* dividía la fachada noroeste en módulos de 2m con profundidad de 1,30 m, con 3 paneles horizontales fijos en sus costados, 50 cm frente a las ventanas. Los *brises* se calcularon para el sol del mediodía del cenit y un sol de invierno a 45°. Debemos tener en cuenta que en los meses más calientes, el promedio de las temperaturas máximas de Río supera los 30° y la humedad relativa fluctúa en torno al 80%.

Para Almodóvar, en los meses de verano se observa, sin embargo, cómo durante la mayor parte del día, las lamas no reciben radiación solar directa. Como consecuencia su existencia no está justificada como elemento de protección solar, y debido a su color no sería una solución óptima desde el punto de vista lumínico. En los croquis realizados sobre el funcionamiento de las lamas, como se observa en la figura 4, aparecen dibujadas sólo dos, pensándose que estas recibirían sol al medio día en verano¹⁵.

¹¹ Le Corbusier, op. cit. , p.82.

¹² Comas, Carlos E. D., 2000.

¹³ Moos, Stanislaw Von, 2013.

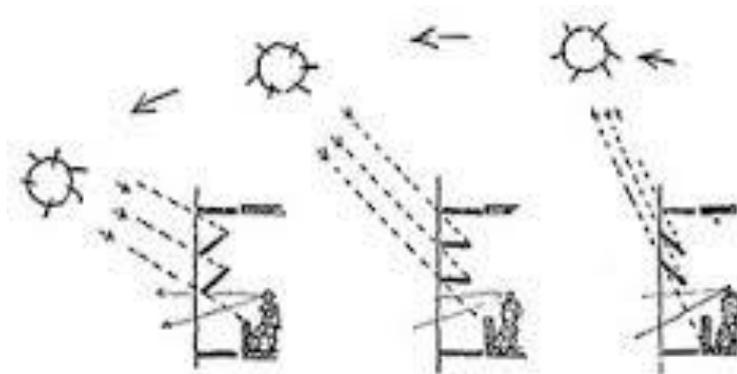
¹⁴ Costa, Lúcio, Ministério de Educação e Saúde, Memorial descritivo, 1962.

¹⁵ Almodóvar, J. M., 2004, op. cit.



3. Fachada del Ministerio de Educacion y Salud. Foto Nelson Kon.

El análisis bioclimático de acuerdo con Requena, concluye que las lamas en las tres posiciones tienen una óptima adaptación a las líneas de sombra permitiendo controlar la entrada de sol con la inclinación de las mismas. Si analizamos el *brise-soleil* en sección, podemos observar, que la superficie acristalada se extiende desde aproximadamente un metro de altura hasta el techo (fig. 4). Este es un factor crucial en el desempeño lumínico de los *brises*, pues la altura mayor del techo garantiza una mayor penetración de luz en las zonas más distantes de la ventana. Según Requena, el nivel de iluminancia de 500lux en el plano de trabajo, se consigue en todas las opciones, exceptuando la posibilidad de días nublados, para el fondo de la habitación. Los gradientes entre la parte más próxima a la fachada y el interior evitan los deslumbramientos y garantizan el confort visual¹⁶. Las lamas se disponen de forma que, sea cual sea su posición, no impidan las vistas de la ciudad. Esta estrategia la consideramos adecuada; la superficie opaca (casi un tercio de la fachada), realmente no produciría un incremento de iluminación aprovechable.



4. Croquis del funcionamiento de las lamas, incluido en el memorial del proyecto. Fuente: Costa, Lúcio, 1962.

¹⁶ Requena Ruiz, I, op. cit. p. 121.

Según Almodóvar, el coeficiente de reflexión de las lamas es un aspecto crítico en el diseño del *brise-soleil*. Las lamas con un factor de reflexión de 0,8 o superior (claras) producen mejores resultados lumínicos a la posibilidad de que estas no se utilicen, esto se verifica incluso bajo cielo nublado. Por tanto, las lamas correctamente dimensionadas y revestidas de color claro en orientación norte (en el hemisferio sur), son una elección segura a la par que necesaria desde el punto de vista lumínico y térmico¹⁷. Podemos observar también de acuerdo con sus simulaciones, como los campos lumínicos espaciales generados por las lamas son más homogéneos y penetran más profundamente en el ambiente, lo que implica un significativo ahorro de energía.

La simulación de la fachada NNO, demostró el efecto eficaz del *brise-soleil*, con la disminución de 3° a 10° en las temperaturas internas, comparado a la situación sin sombreado (tabla 2), durante todo el año. Los mapas de iluminación interna demostraron para el 21/6, invierno en Rio de Janeiro, a las 8:00h relaciones de iluminância de 203-636-2454 lux. Para las 16:00h, los valores son de 2001-5663-18644 lux. En el verano, en el 21/12, a las 8:00h ocurren niveles de 493-1428-5724 lux, y para las 16:00h tenemos 685-1949-7867 lux.

Se concluye que la solución de los *brise-soleil* para el MES, fué acertada en su implementación en la fachada noroeste, por la combinación de las lamas verticales y horizontales que efectúan la protección en los horarios en los que el sol está bajo. Las temperaturas internas son mucho más leves comparadas al ambiente exterior o si no hubiera el sombreado. Sin embargo, la fachada sureste, recibe la luz directa del sol, en la mañana, en el verano, por lo tanto, con gran aporte térmico, así, que necesitaría la protección solar desde el equinoccio. Considerando la iluminación, en los días con cielo despejado, los niveles alcanzados son suficientes y con una buena homogeneidad, para las actividades de las oficinas.

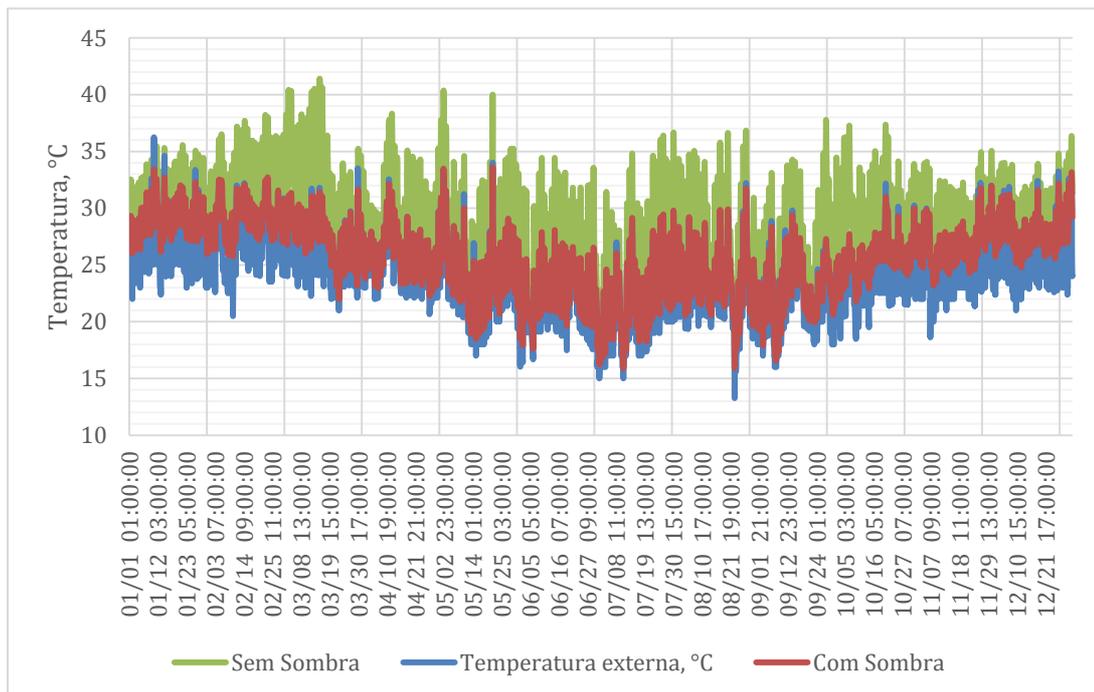


Tabla 2. Rio de Janeiro: Comportamiento anual del *brise-soleil* (rojo) a través de la temperatura en la habitación en comparación con el rendimiento de la fachada sin brises (azul) y temperaturas de ambiente exterior (verde).

¹⁷ Almodóvar, J. M., 2004, op. cit.

4. La Unidad de Habitación de Marsella

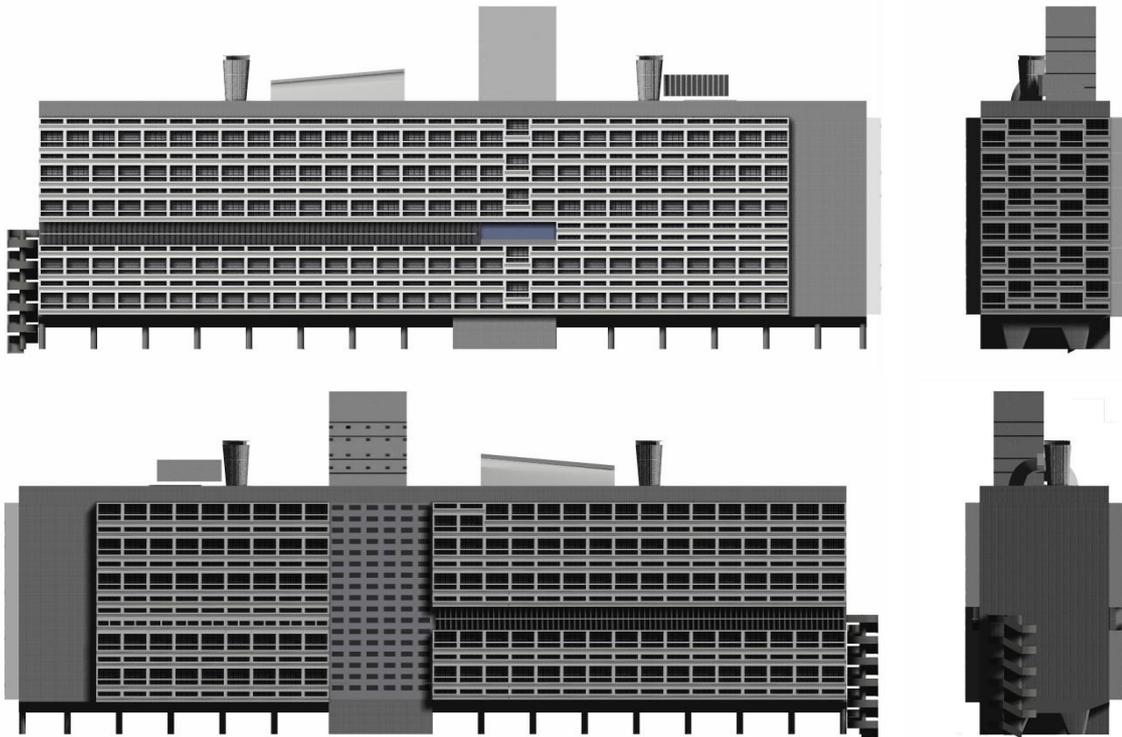
La Unidad de Habitación de Marsella evoca la imagen de un gran transatlántico, referenciado por Le Corbusier en *Vers Une Architecture*. Aquí, el arquitecto retoma la fachada especializada del rascacielos de la *Marine*, en Argel, con la variación de los elementos y creando una textura en la fachada. El *brise-soleil* en forma de *loggia* fue la alternativa para los apartamentos y los verticales, para las calles de espacios comerciales y de servicios de la planta intermedia, de modo que es reconocible desde el exterior (fig.5). En este proyecto, Le Corbusier en realidad se enfrenta a una situación compleja: tener que demostrar los méritos de la solución de los *brise-soleil* en las direcciones de donde el sol es menos eficaz. La *loggia* de Marsella es un prototipo, un dispositivo destinado a generalizarse, a afirmarse y a ser refinado. En la descripción de Wogenscky:

*“Una ventana acristalada de 3,66 m. de ancho y 4,80 m. de altura se abre a la sala común sobre el espacio exterior. Entra la luz que fluye en el apartamento hasta la cocina que está en plena claridad. Esta gran vidriera de 3,66 m. se abre, en la longitud y dos metros de altura en una loggia formando una verdadera extensión al aire libre de la sala común. Esta loggia forma el brise-soleil, que es decir, permite que el sol entre profundamente en el apartamento en invierno; en verano, por el contrario, bloquea la penetración.”*¹⁸

Para Daniel Siret, en Marsella, es evidente que el *brise-soleil* real trabaja al revés del *brise-soleil* teórico: en la configuración este-oeste, la *loggia* mal permite penetrar el sol en invierno y protege poco en verano. En el verano, con las 15 horas solares, la *loggia* protege sólo la mitad de la fachada oeste, exponiendo la otra mitad a los rayos más calientes de la tarde. La simulación térmica predice un aumento significativo de las temperaturas internas. En invierno, por la tarde, por el contrario, más de la mitad de la fachada está a la sombra de la *loggia*¹⁹.

¹⁸ A. Wogenscky, apud Siret « Description systématique de ‘ l’Unité d’habitation Le Corbusier ’ à Marseille » in Le Corbusier L’Unité d’habitation de Marseille, Le Point (Revue artistique et littéraire), XXXVIII, Novembre 1950, p. 55

¹⁹ Siret, Daniel, 2002, op. cit, p. 5.



5. Unidad de Habitación de Marsella, arriba: fachadas este y sur, abajo: oeste y norte. Fuente: disponible en: <http://misfitsarchitecture.com/tag/unite-dhabitation-marseilles/> acceso en 30/05/2015.

La evidencia del diagrama de sombreado (desarrollado por Olgyay y Olgyay) muestra que la fachada oeste (el lado más largo), permite dos horas de penetración solar de 15:00 a 17:00h en los meses de verano y sólo 20 minutos de luz directa del sol en los meses de invierno. Por el contrario, la máscara de sombra demuestra que la elevación del sur (lado corto) funciona admirablemente, permitiendo hasta ocho horas de penetración de la luz del sol en los meses de invierno y la sombra completa desde abril hasta septiembre. En otras palabras, si el edificio fuese girado en 90 grados los *brises* trabajarían mucho más efectivamente²⁰.

Las simulaciones desarrolladas en este estudio, demostraron que el brise mitiga el efecto de las altas temperaturas tanto en verano como en el invierno. Los gráficos siguientes muestran la comparación de las fachada con y sin sombreado, el *brise-soleil* produce una reducción significativa de temperaturas, del orden de 2 a 5° de amplitud tanto en fachada este cuanto en la oeste (ambas con la ventana a doble altura). Esta reducción es favorable en el verano, pero en el invierno las temperaturas son iguales o más bajas que las temperaturas externas, justamente por el sombreado que proporcionan (Tabla 3 y 4).

El efecto de los *brise-soleil* considerando la iluminación natural en la doble altura de la fachada oeste, desconsiderando las divisiones internas, (que corresponden a los servicios), genera niveles de iluminación elevados desde las primeras horas de la mañana, cuando las relaciones de iluminancias a las 08:00h son de 739-1235-1890 lux, para las 16:00h son de 1258-11269-32325 lux en el 21/6. Las simulaciones para la tarde, demostraron la incidencia solar directa desde las 15:00 hasta las 18:00h En el invierno, los niveles son muy bajos por la mañana, con valores de 47-130-261 lux y para las 16:00h, tenemos 493-1668-6673 para el 21/12, sin incidencia solar directa.

²⁰ Mackenzie, Christopher, 1993.

Para la doble altura de la fachada este, los niveles de iluminación ya son muy elevados a las 8:00h de la mañana, con relaciones de 1332-8361-16259 lux y a las 16:00h 795-1278-2001 lux, en el 21/6, presentando relaciones homogéneas por la tarde. Si comparamos las iluminancias de la tarde de la fachada este, con las de la mañana en la fachada oeste, vemos que las condiciones son muy similares. Esto significa que las iluminancias de las habitaciones suelen ser homogéneas, cuando no ocurre la incidencia solar directa. Para el 21/12, tenemos a las 8:00h, 64-202-428 lux y a las 16:00h, 297-532-913 lux. Sin embargo, en las dos fachadas, los brises no comprometen la iluminación natural, debido a la doble altura acristalada que produce una iluminancia promedio muy por encima de los niveles necesarios, excepto en las primeras horas de la mañana en el invierno, en los dos casos.

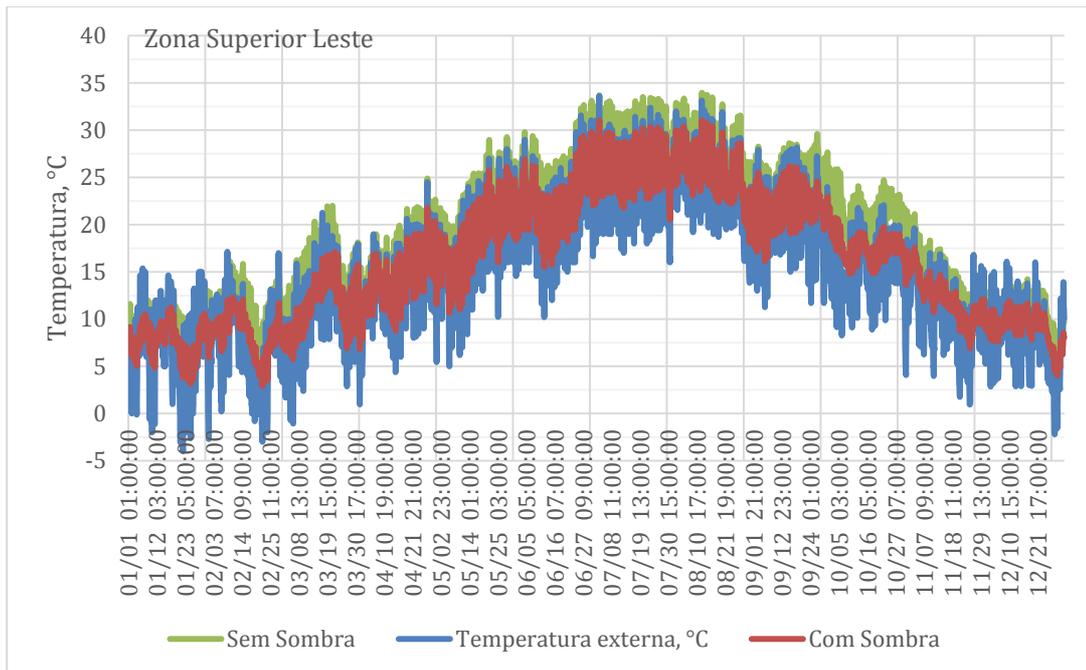


Tabla 3. Marsella: Apartamento de la fachada este con doble altura. Desempeño anual de la zona con el *brise-soleil* (en rojo) a través de las temperaturas internas comparado al desempeño de la fachada sin los *brises* (en verde) y a las temperaturas ambiente exterior (en azul).

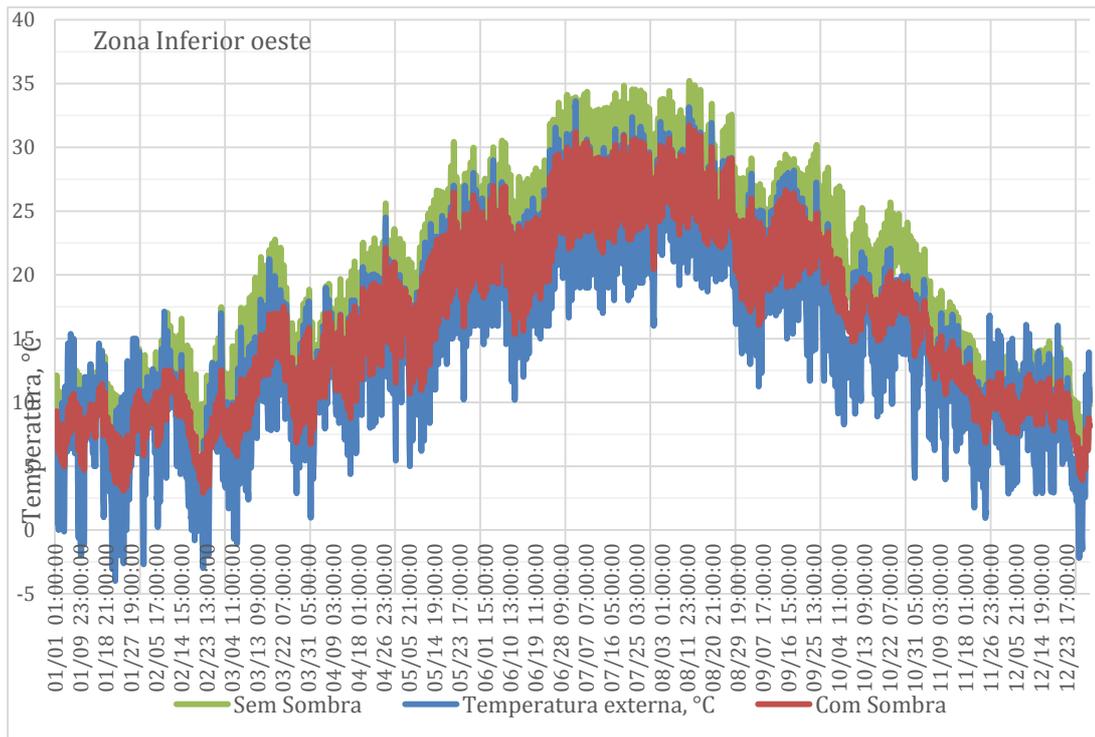


Tabla 4. Marsella: Apartamento de la fachada oeste con doble altura. Desempeño anual de las temperaturas internas con *brise-soleil* (en rojo) comparado al desempeño la fachada sin *brises* (en verde) y a las temperaturas ambiente exterior (en azul).

5. El Secretariado de Chandigarh

En las primeras etapas del proyecto, la complejidad de las técnicas empleadas dificultaba el ajuste de forma y clima, a lo que se sumaron los diferentes requerimientos ambientales en el trópico (Ahmedabad y Chandigarh). Esto llevó a la necesidad de sistematización de los conocimientos previos y a la proposición de métodos más operativos. Con este objetivo, Xenakis, Doshi y Missenard elaboraron el *Grille climatique* en 1951, donde estudiaban variables relativas al confort humano: temperatura del aire, humedad, velocidad del aire y temperatura radiante. La tabla vinculaba la toma de datos con la combinación necesaria de actuaciones bioclimáticas (radiación solar, ventilación, humedad ambiental e inercia térmica)²¹.

El edificio del Secretariado funciona como sede de los gobiernos municipales de Punjab y Haryana. Es el más grande de los tres edificios administrativos del Capitolio de Chandigarh y marca por el lado izquierdo, el borde del complejo del Capitolio. Tiene una forma alargada, horizontal y maciva de hormigón, 254 metros de largo y 42 metros de altura. Está compuesto por seis bloques de ocho pisos, divididos por las juntas de dilatación, sustentado por dos rampas esculturales, para la circulación vertical a lo largo de los niveles de las instalaciones.

El bloque horizontal de hormigón bruto ha sido objeto de cuidadoso estudio teniendo en cuenta el relieve escultórico dado al hormigón por el efecto de los diferentes tipos de *brise-soleil*. Por este trabajo compositivo, el edificio tiene semejanzas con el bloque de Marsella y tenía un propósito igualmente elevado: revolucionar el moderno edificio administrativo. El Secretariado estaba entre los primeros edificios diseñados como un "edificio saludable" con cuidadosa atención a la iluminación natural, la ventilación y la eficiencia organizacional.

²¹ Siret, D., 2006, p.2

El Secretariado es la forma simple y convencional donde las variaciones de la estructura y distribución interna no interrumpen su volumen compacto, pero son reproducidas bi-dimensionalmente en un diseño muy elaborado de los *brise soleils*. Posee la fachada rítmica que crea un deleite para los ojos en un común bloque gris. La jerarquía administrativa se reconoce a primera vista (fig.6). Las oficinas tienen un *brise-soleil* estandarizado, cuyo elemento principal forma un alto antepecho, donde se reprodujo el mismo esquema de fachada profunda, haciendo accessible la *loggia* desde el interior. Para reducir visualmente la magnitud de su fachada maciva, el Secretariado fue diseñado como un edificio modular que fragmenta legiblemente la elevación en los elementos del programa. Desplazado en relación al eje de simetría del conjunto, el bloque de los ministros, con doble altura, puede ser fácilmente identificado por su vasta *loggia* en un contrapunto escultural a la apariencia en serie de los otros despachos (fig. 7).



6. Fachada del edificio del Secretariado de Chandigarh.

Para maximizar la iluminación natural y aumentar la ventilación cruzada, se implementó este plano largo y estrecho. Así, el corte de este vasto edificio de oficinas es proporcionado por la protección contra el sol: *brise-soleil*; contra el calor del aire: respiración natural y artificial; por una modulación rigurosa proporcionada por el Modular, traendo a todas las cosas una estatura humana²². En el Secretariado, el hormigón crudo se interpone en la fenestración de las dos fachadas principales, con elementos verticales y estrechos, 27x7 cm de sección y 366 cm. de altura, constituyen los *ondulatoires*²³. Dentro de los panos de vidrio con carpintería de madera, se introdujeron los *aérateurs* de entrada. Los de salida estaban conectados a conductos que llevaban el aire hacia la cubierta²⁴.

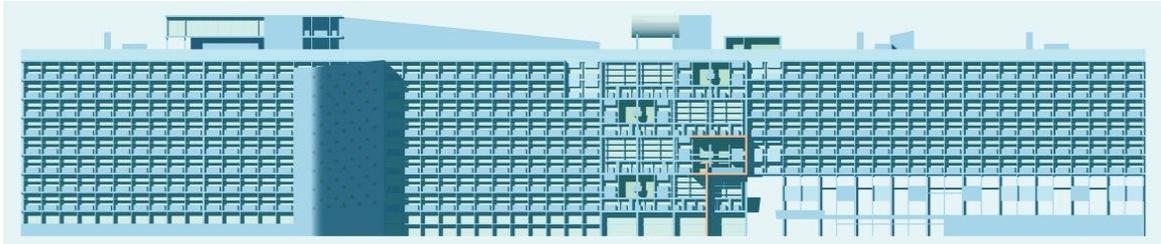
Entre todos los desafíos que tuvo el arquitecto en proyectos llevados a cabo, en India, la adaptación al clima no era el más pequeño. Se trata de hacer la demostración de las virtudes de la arquitectura moderna en un clima

²² Pagnotta, Brian. 2011.

²³ Le Corbusier, 1957. p.78

²⁴ Requena Ruiz, I., op. cit., p.92.

difícil, que tiene una temporada muy caliente desde marzo a mayo (temperaturas cerca de los 40 grados) y una muy húmeda de junio a octubre²⁵.



7. Fachada del edificio del Secretariado de Chandigarh. Fuente: disponible en:

<http://heldinaline.tumblr.com/post/101920384187/secretariat-building-capitol-complex-chandigarh>

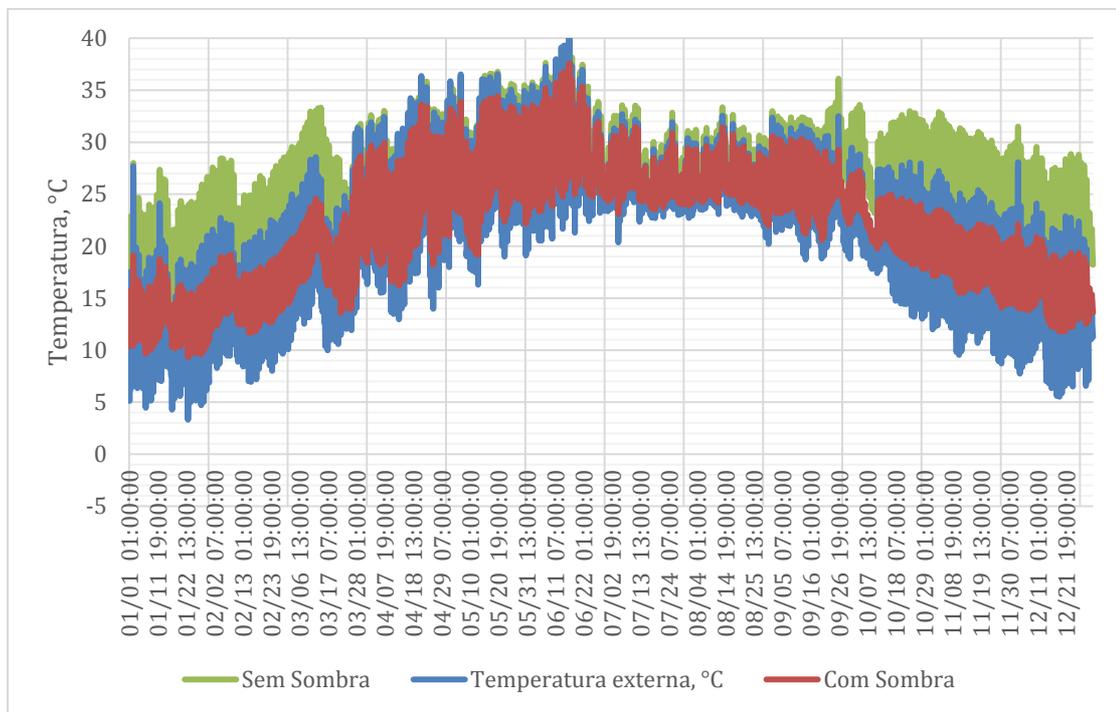


Tabla 5. Chandigarh: Desempeño anual del *brise-soleil* (en rojo) a través de las temperaturas internas en las oficinas del plano tipo, bloque C, comparados con el desempeño de la fachada sin sombreado (en azul) y temperaturas ambiente exterior (en verde).

Las simulaciones demuestran que los *brises* mitigan las temperaturas, durante todo el año con una amplitud de 2° a 8°, sin embargo, las amplitudes más grandes ocurren en los meses de octubre a marzo. De marzo a octubre, se presentan temperaturas más elevadas, y las temperaturas internas pueden llegar a los 37°, aunque llegarían a alcanzar los 40° sin el sombreado (Tabla 5).

Para la planta abierta, sin considerar las divisiones, los niveles de iluminación ya son adecuados a las 8:00h de la mañana con relaciones de 171-1059-46507 lux y a las 16:00h, 384-3131-175757 lux, en el 21/6. Sin embargo, las zonas de pico son muy puntuales, de modo que el ambiente se puede considerar homogéneo. En el 21/12, los

²⁵ Indian Society of Heating, Refrigeration and Air conditioning Engineers. Chandigarh tiene un clima temperado húmedo, con verano seco y caliente. Para la simulación de Chandigarh se utilizó los archivos climáticos de la ciudad vecina de Dehradun.

niveles son muy reducidos a las 8:00h con relaciones de 11-89-4634 lux, a las 16:00h tenemos 133-815-34629 lux. El efecto de los *brise-soleil* considerando la iluminación natural, sería apropiado en las habitaciones, sin divisiones internas, excepto en las primeras horas de la mañana.

6. La Asociación de Hilanderos en Ahmedabad

El Edificio de la Asociación de Hilanderos en Ahmedabad, quizá resume lo que se observa sobre el trabajo de Le Corbusier en la India. La estructura es rigurosamente disciplinada, el edificio está orientado de acuerdo con los vientos dominantes. Las fachadas este y oeste tienen sus *brises* precisamente calculados de acuerdo con la latitud local y el trayecto solar en cuanto que las fachadas norte y sur son prácticamente cerradas²⁶. Le Corbusier optó por una arquitectura completamente abierta, donde el aire circulaba de forma natural, una construcción en la que la estructura, los *brise-soleils* y la envolvente exterior configuraban el soporte base de plantas diáfnas. Los *brises-soleils* aparecen una vez más como un importante elemento compositivo, concebido como un elemento adicionado a la fachada (fig. 8). En el lado oeste estos aparecen en ángulo para evitar que el temible calor del sol de la tarde penetre profundamente en la planta. Por otro lado, el edificio es una composición espacial osada donde abunda el espacio de circulación, lo cual permite que la brisa del río Sabarmati pase a través de los espacios al aire libre sombreados, ofreciendo un maravilloso refugio dentro de una ciudad hostil y caótica²⁷.

La configuración abierta del edificio transformaba la arquitectura en una construcción porosa al paso del aire y protegida de la radiación, dejando las zonas privadas delimitadas por cerramientos específicos. Así como en Chandigarh, también a lo largo de las carpinterías proyectó un *aerateur*, a cada 1,42 m para garantizar la ventilación cruzada y disipar el calor interior. La buena aireación, acompañada de la gran altura libre (3,66 m) de los espacios, preveía mitigar la sensación térmica en los periodos cálidos del clima tropical. En las obras de los años cuarenta, la construcción indisoluble de la estructura y *brise-soleil* añadía la inercia y superficie de captación del parasol a la del resto del edificio, comprometiendo la habitabilidad en periodos pico de verano. El calor captado en la fachada era cedido a la estructura y, si carecía de una correcta ventilación, no llegaba a ser disipado en ciclos de menor temperatura. Este efecto fue monitorizado en el edificio de la Casa de Brasil²⁸. Con el objetivo de evitar estas deficiencias realizó tres modificaciones en el sistema. En primer lugar, redujo el volumen de hormigón armado expuesto a la radiación solar directa. En segundo, introdujo una discontinuidad constructiva, entre el *brise-soleil* y el forjado, quedando unidos puntualmente por ménsulas. El calor, captado y almacenado en el *brise-soleil* no se transmitía por conducción al forjado interior, evitando aumentar la cesión de energía. La tercera medida fue disminuir al máximo los elementos de hormigón presentes en el plano de fachada con exposición directa al sol, sustituyendo los antepechos unidos a la estructura por barandillas metálicas o piezas de hormigón independizadas.

²⁶ Requena Ruiz, I. 2012, p.5.

²⁷ Le Corbusier, op.cit., p.144.

²⁸ Requena Ruiz, I. 2012, op.cit., p. 5.



8. Mill's Owners Association – Ahmedabad, *Brise-soleil* de la fachada este, como elemento compositivo visivamente separado de la fachada.

Ahmedabad está localizada en la latitud 23° 06' N. y longitud 72°40' E. El clima es seco estepario cálido, caracterizado por precipitaciones anuales concentradas en periodo de los monzones y temperatura media anual superior a los 18°C. Las máximas diarias en verano superan los 40°C y las mínimas de invierno no bajan de los 10°C, combinándose con la estación de monzón intenso, con temperaturas hasta los 35°C y humedad relativa media superior al 70% ²⁹.

Las simulaciones fueron hechas en las salas de conferencias, de las fachada este y oeste. Los gráficos presentan el efecto de los *brise-soleil* de la fachada este: la mitigación de las temperaturas durante todo el año presentan amplitudes de 2° a 6°, y en los periodos cálidos de marzo a octubre presentan amplitudes reducidas (Tabla 6). Las diferencias van de 2° a 4° en los meses calientes y hasta 6° en el periodo más frío, lo que no llega a ser un problema, pues las temperaturas invernales son amenas. En la fachada oeste, los picos de temperaturas son más elevados, llegando de 45° a 49°, donde el efecto de los *brises* es preciso, con reducciones de hasta 10° (Tabla 7). Sin embargo, la sensación térmica, en el ambiente interno puede ser más alta debido a la humedad relativa igualmente elevada. En definitiva, esta combinación de factores, no se suele solucionar solamente con estrategias pasivas. Cómo se observa en el comentario anterior, la preocupación y las estrategias de Le Corbusier, en los casos de India, fueron focadas en el aporte de calor.

²⁹ India Metereological Department. Fuente: disponible en: <http://imdahm.gov.in/ahm.htm>, acceso en 5/06/2015.

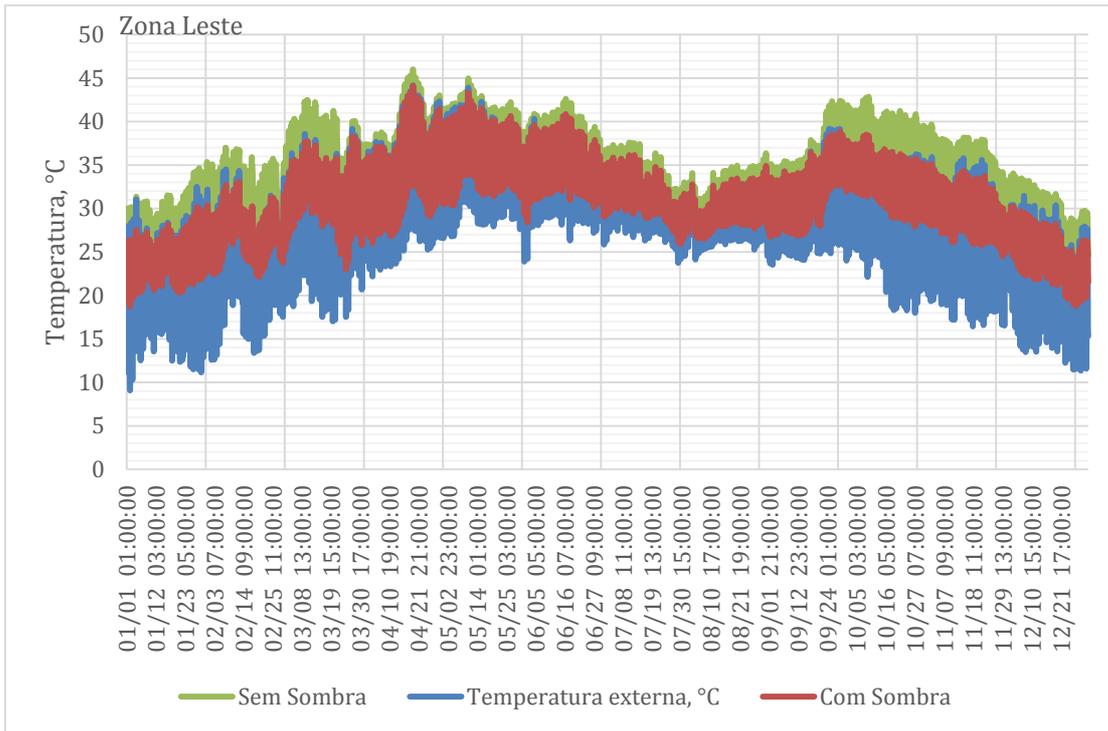


Tabla 6. Ahmedabad: Desempeño anual del *brise-soleil* (en rojo) a través de las temperaturas internas en la sala de conferencias de la fachada este, comparado al desempeño de la fachada sin los *brises* (en azul) y temperaturas ambiente exterior (en verde)

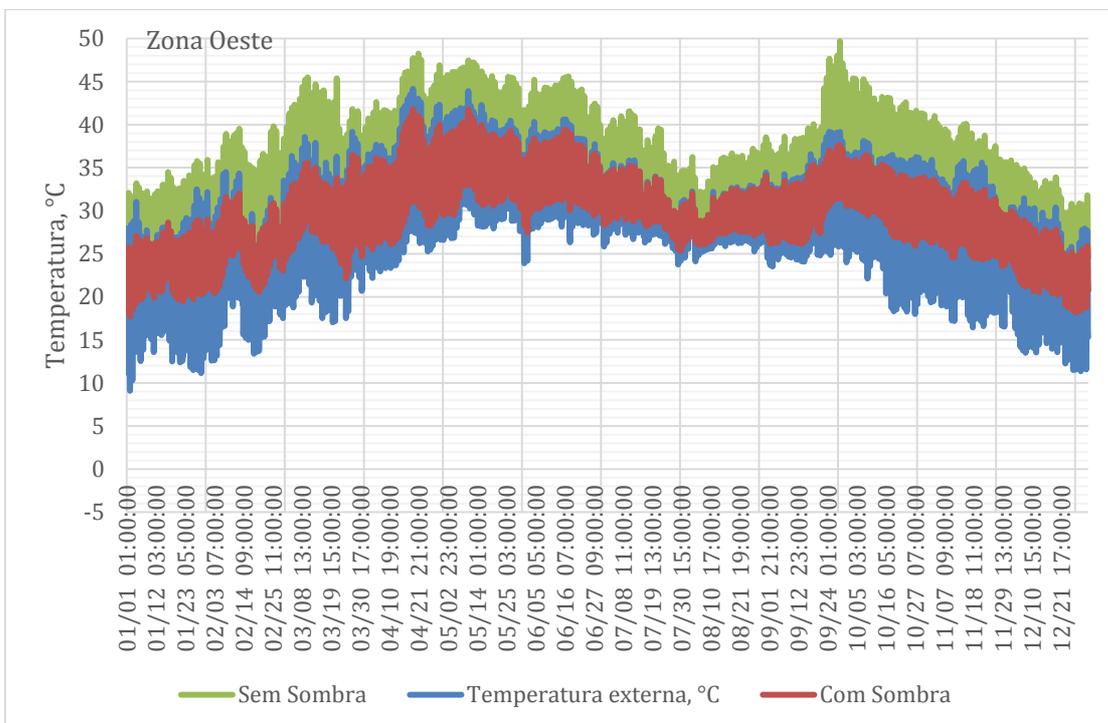


Tabla 7. Ahmedabad: Desempeño anual del *brise-soleil* (en rojo) a través de las temperaturas internas en la sala de conferencias de la fachada oeste, comparado al desempeño de la fachada sin los *brises* (en azul) y temperaturas ambiente exterior (en verde).

Los mapas de iluminación, demostraron para la fachada oeste, a las 8:00h, niveles de iluminación bajos de 39-126- 1778 lux, y para las 16:00h, 143-491-6243 lux, sin incidencia solar directa, en el verano (21/6). Para que se tenga una idea más concreta del efecto de los *brises*, las iluminancias, a las 16:00h serían de 4042-19653-76994 lux, con incidencia solar directa, sin el sobreamiento. En el invierno, los niveles a las 8:00h son de 7-22-220 lux, o sea muy oscuros, y a las 16:00h, tenemos 829- 3132- 21479 lux, en el 21/12. Del mismo modo, que en el 21/6, la situación sin el sobreamiento genera una incidencia solar directa muy grande, 2005-7929-28402 lux. Así en términos lumínicos, se observa, que los *brise-soleil*, son muy efectivos, en este caso.

En la fachada este, a las 8:00h ocurren las relaciones de iluminancia de 1563-7266-127206 lux, y a las 16:00h, 490-1231-31614 lux, en el 21/6. En el 21/12, los niveles para las 8:00h son de 106 -342-7501 lux y a las 16:00h, son de 334-970-23732 lux.

7. Centro Carpenter para las Artes Visuales in Cambridge, Massachusetts.

El proyecto del Centro Carpenter proporcionó a Le Corbusier la oportunidad para presentar la síntesis final de sus ideas básicas y teorías sobre arquitectura y arte, en los Estados Unidos. Este edificio fue diseñado para las clases de la Arquitectura, Cine y otras Artes. Su exterior de hormigón tiene un acabado suave y preciso; altas y delgadas columnas rompen sus espacios interiores. Una gran rampa curvilínea divide la estructura y se conecta con la escalera principal y una sala de exposición. Desde el comienzo del proyecto, el Carpenter Center se caracteriza como un paseo arquitectónico conectando las dos calles, a través de un volumen que utiliza formas flexibles.

El arquitecto reeditó la solución ya probada en Chandigarh, Ahmedabad y Villa Shodhan, basada en paneles de hormigón colocados diagonalmente o perpendicular al borde de la construcción, pero con cristal sin marco fijo (fig. 9). Los pisos superiores del edificio, que no tienen aire acondicionado (Le Corbusier culpó el aire acondicionado para la prevalencia de problemas de sinusitis en los Estados Unidos), acumulan, tanto calor durante el verano que las aulas de la cuarta y quinta planta quedan inutilizables³⁰. La expectativa del autor, que el edificio podría ser refrescado por los *brises-soleil* y por las altas y estrechas ventanas operables (*aérateurs*) no funcionó³¹.

Las aberturas del Centro Carpenter son principalmente de cuatro tipos: ventanas completas de piso a techo (*pan de verre*), *brise-soleil* (que también eran muros), *ondulatoires* (que dieron al espacio una mejor definición, como una pared discontinua en algunos lugares), *aérateurs* (como láminas pivotantes verticales con anjeos o telas de protección contra insectos incluidas). Todos estos elementos juntos constituyen una gramática de fachada, que es la versión actualizada por Le Corbusier de su principio de la fachada libre de los años veinte. La idea era que cada uno de los elementos tenga su propia función y que se integren para simbolizar dicha función.

El Centro Carpenter Center representa la intensificación de sus proyectos anteriores que no sólo incorporan sus elementos arquitectónicos, como buscan nuevas soluciones. Esto queda evidente en el diseño de los *brises* que están dirigidos para acomodar los rayos del sol en las cuatro estaciones. La construcción es simple, consiste en lamas y pequeñas columnas. Los brises parecen moverse para regular la luz, de tal manera que constituye un avance en el lenguaje arquitectónico probando sus límites en cuanto a lo que podría llegar a ser, en lugar de simplemente simplemente aceptar sus éxitos anteriores.

³⁰ Frampton, Keneth, 2002, p. 186.

³¹ Blair Kamin, 2013.



9. Fachada del Centro Carpenter de Artes Visuales.

8. Conclusiones

El *brise-soleil* es el elemento que caracteriza la producción del periodo tardío de la obra de Le Corbusier. Fue un medio de contraponer la vulnerabilidad de la fachada totalmente envidrazada y de evitar la retención de calor sin tener que volver a la tradición de la fachada sólida y perforada. Coherente con la lógica dialéctica de Le Corbusier, la transparencia ideal de la pared externa no fue totalmente abandonada; sus efectos se combinan con la adición de ese nuevo elemento tectónico. Sin embargo el *brise-soleil* era más que un dispositivo técnico; introdujo un nuevo elemento arquitectónico: una pared gruesa y permeable cuya profundidad y subdivisiones le otorgan a la fachada la morfología y la expresión edicular que se había perdido con la eliminación de la ventana y la pilastra. Por lo tanto, este proceso debe ser visto como un paso en dirección a la tradición monumental, que permitió transformar la lámina o la torre, como en Argel, en el Secretariado, o en Chandigarh, en una forma monumental, cuya superficie podía ser manipulada, creando una jerarquía de escalas, proporcional tanto al ser humano, cuanto al edificio como un todo.

Si en un primer momento el *brise-soleil* fue un elemento funcional, basado en una aproximación intuitiva, rápidamente pasó a ser un elemento compositivo, como se demuestra en el caso de Argel y en los proyectos siguientes. Sin abandonar los estudios en dirección a la optimización de su eficiencia y apoyándose en consultores, el arquitecto orientó a su equipo a solucionar los problemas específicos de la adaptación climática de cada obra. El deseo de excelencia se expresa ya en los proyectos en la India, como en el caso del Secretariado y finalmente en Cambridge.

Se puede concluir afirmando que Le Corbusier creó una doble fachada, lo cual es evidente al observar en los proyectos la línea de adición del *brise* como un elemento que se acopla a la línea del plano de vidrio y que acaba siendo construido junto a la placa de hormigón. A partir de los proyectos en India, donde la situación climática es más crítica y cuando las investigaciones climáticas tuvieron un avance con la aplicación del método de la *malla climática*, las aplicaciones de éste generaron una relación con el clima más compleja y abstracta. Cada elemento

presentaba una función específica: el *brise-soleil* era calculado y orientado según los requisitos del clima y del programa y los *aérateurs* según su número y posición, permitían la permeabilidad del aire. En este momento el brise se separa de la fachada en la búsqueda por la eficiencia en su desempeño ambiental.

En todos los casos el diseño de los brises, configura la fachada dupla, lo que de cierta forma no es más que un muro neutralizador, o sea, un artificio de proyecto para hacer la mediación entre el clima exterior y el interior, un elemento de acondicionamiento natural. Esto se verifica en los ejemplos presentados: Argel y la Unidad de Habitación, caracterizados por la *loggia brise-soleil*, el Ministerio, con su combinación de elementos verticales y horizontales, la diversidad compositiva en Chandigarh, y finalmente por los muros conceptuales de Ahmedabad y Cambridge.

Los resultados de este trabajo evidencian la cuestión central de la dualidad entre el sol del invierno y el sol de verano, así como la dificultad de trabajar en los lugares con climas más rigurosos, los cuales no suelen tener una solución fácil en el proyecto. En el caso de la Unidad de Habitación de Marsella, los brises no impiden una incidencia solar directa de dos horas en las tardes de verano y no permiten el aporte solar en el invierno. En los dos casos de India, las temperaturas internas permanecen muy elevadas en los períodos calientes. Sin embargo, las simulaciones desarrolladas en este estudio demostraron el efecto térmico favorable de los brises en todos los casos, con la mitigación de las temperaturas internas comparado a las condiciones sin el sobreamiento y a las temperaturas ambiente exterior. Aunque en los casos de Ahmedabad, y Chandigarh, no se logra en confort interno con las técnicas pasivas, la reducción de las mismas temperaturas a través de los brises y del conjunto de estrategias pasivas no es despreciable. Con relación al desempeño lumínico el efecto del brise-soleil es igualmente favorable al producir unas relaciones de iluminancias más homogéneas. Sin embargo, no se puede restringir esta apreciación exclusivamente a los brises, sino a la totalidad del sistema espacial propuesto por Le Corbusier, expresado en la conjunción del *brise-soleil* con las aberturas y la configuración formal del edificio. Estos elementos fueron perfeccionados durante su vida, siendo los factores climáticos los parámetros abstractos generativos de una gramática formal.

9. Procedencia de las imágenes

Fig. 1 - Le Corbusier Le Corbusier – Ouvre Complète 1938-1946. Les Editions d'Architecture Erlenbach-Zurich, 1946. p. 104.

Fig. 2 – ídem, p. 56, 61 y 64.

Fig. 3 – Nelson Kon. [en línea] [fecha de consulta: Mayo,10, 2015] . Disponible en internet: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/minhacidade/08.086/1917>

Fig. 4 - Costa, Lúcio. Ministerio de Educação e Saúde, Memorial descritivo. En *Sobre Arquitetura*, volume 1 (org. Alberto Xavier). Porto Alegre: Centro dos Estudantes Universitários de Arquitetura, 1962

Fig. 5 – [en línea] [fecha de consulta: Mayo,10, 2015] . Disponible en internet: <http://misfitsarchitecture.com/tag/unite-dhabitation-marseilles/> acceso en 30/05/2015.

Fig. 6 y 8 – Fotos de la autora.

Fig. 7- [en línea] [fecha de consulta: Mayo,10, 2015] . Disponible en internet: <http://heldinaline.tumblr.com/post/101920384187/secretariat-building-capitol-complex-chandigarh>

Fig. 9 - [en línea] [fecha de consulta: Mayo,10, 2015] . Disponible en internet: <http://www.panoramio.com/photo/62095315>.

Tablas nº 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 son originales de los autores.

10. Bibliografía

Almodóvar, José Manuel, *De la ventana horizontal al brise-soleil de Le Corbusier: Análisis ambiental de la solución propuesta para el Ministério de Educação de Río de Janeiro*, En *Arquitextos* 051.02, ano 05, set. 2004. [en línea] [fecha de consulta: Mayo, 10, 2015]. Disponible en internet: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/05.051/554>.

Comas, Carlos E. D. *A máquina para recordar: Ministério da Educação no Rio de Janeiro, 1936/45*. En *Arquitextos* 005.01, ano 01, out 2000, [Fecha de consulta: Mayo, 18, 2015]. Disponible en internet: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/01.005/967>

Costa, Lúcio. Ministerio de Educação e Saúde, Memorial descritivo. En *Sobre Arquitetura*, volume 1 (org. Alberto Xavier). Porto Alegre: Centro dos Estudantes Universitários de Arquitetura, 1962.

Frampton, Keneth, *Le Corbusier – Architect of the Twentieth Century*, New York: H. N. Abrams, c2002, p. 186.

India Metereological Department. [en línea] [fecha de consulta: Mayo,31,2015]. Disponible en internet: <http://imdahm.gov.in/ahm.htm>.

Kamin, Blair. *Fifty Years Later, Still Scandalizing the Neighbor*. En *Architectural Record*, 2013.[en línea] [fecha de consulta: Mayo,31,2015]. Disponible en: <http://archrecord.construction.com/news/2013/05/130521-on-its-50th-anniversary-what-does-le-corbusier8217s-carpenter-center-at-harvard-say-to-us-today.asp> (<http://worldweather.wmo.int/en/city.html?cityId=242>)

Le Corbusier, *Le Corbusier et son atelier rue de Sèvres 35– Ouvre Complète 1952-1957*. Les Editions d'Architecture Erlenbach-Zurich, 1957. 9º ed., p.78

Le Corbusier. *Le Corbusier – A Carta de Atenas*. São Paulo: Hucitec-Edusp, 1993.

Le Corbusier. *Le Corbusier – Ouvre Complète 1938-1946*. Erlenbach-Zurich: Les Editions d'Architecture, 1946. p. 108

Mackenzie, Christopher, 1993 February: *Le Corbusier in the sun*. [en línea] [fecha de consulta: Mayo, 24, 2015]. Disponible en internet: <http://www.architectural-review.com/1993-february-le-corbusier-in-the-sun/8616242.article>.

Moos, Stanislaw von, *Le Corbusier – Elements of a Syntesis*, 2013.[en línea] [fecha de consulta: Mayo, 30, 2015] Disponible en internet: https://books.google.com.br/books?id=X_igJKO7y5kC&pg=PA50&hl=pt-BR&source=gbs_selected_pages#v=onepage&q&f=false

Pagnotta, Brian. "AD Classics: Chandigarh Secretariat / Le Corbusier" 26 Sep 2011. [en línea] [fecha de consulta: 25 May 2015]. Disponible en internet: <http://www.archdaily.com/?p=162279>

Requena Ruiz, I. *Arquitectura adaptada al clima en el movimiento moderno: Le Corbusier (1930-1960)*. Tesis doctoral, Universidad de Alicante, Alicante, 2011, pp. 215. [en línea] [fecha de consulta: 25 May 2015]. Disponible en internet: <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/23997>

Requena Ruiz, I. Bioclimatismo en la Arquitectura de le Corbusier: El Palacio de los Hilanderos. En *Informes de la Construcción*, Vol. 64, 528, 549-562, octubre-diciembre 2012. [en línea] [fecha de consulta: 25 May 2015]. Disponible en internet: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/viewArticle/2425>

Siret, Daniel. "1950 - Grille climatique - Chandigarh". *Le Corbusier Plans*. Paris: Editions Echelle-1 y Fondation Le Corbusier: DVD-ROM, 2006. [en línea] [fecha de consulta: Mayo, 18, 2015]. Disponible en internet: [http://www.researchgate.net/publication/236883104_Le_Corbusier_Plans_-_Notice_1950_-_Grille_climatique_\(Chandigarh\)](http://www.researchgate.net/publication/236883104_Le_Corbusier_Plans_-_Notice_1950_-_Grille_climatique_(Chandigarh))

Siret, Daniel. *L'illusion du brise-soleil par Le Corbusier*, Langages Scientifiques et Pensee Critique, Cerisy, juin 2002, Laboratoire CERMA UMR CNRS 1563, Cerisy, France. [en línea] [fecha de consulta: Mayo, 15, 2015]. Disponible en internet: <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00580040>

Siret, Daniel; Harzallah, Amina. *Architecture et contrôle de l'ensoleillement*, CERMA - UMR CNRS 1563, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes, 2006. [en línea] [fecha de consulta: Mayo, 18, 2015].

Disponible en internet:

<http://www.cafepedagogique.net/communautes/EquipedeRecherchesurlesambiances/Documents/Architecture%20et%20contrôle%20de%20l'enseillement.pdf>

U.S. Department of Energy, EnergyPlus Energy Simulation Software, [en línea]. [fecha de consulta Mayo, 24, 2015]. Disponible en internet: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>.