



EL CONJUNTO “VIDRIO-CONTROL SOLAR” COMO ELEMENTO ARQUITECTÓNICO PARA LA REGIÓN TROPICAL.

Oscar Daniel Corbella¹ y Ricardo Bonnet Alvarenga²

FAU (Faculdade de Arquitetura e Urbanismo) - PROURB (Programa de Pós-graduação em Urbanismo) e PROARQ (Programa de Pós-graduação em Arquitetura) - UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro) Rio de Janeiro - Brasil - www.ufrj.br – Tel. 00 55 21 2598 1993 - Fax 00 55 21 2890 1990

RESUMEN

En este trabajo se estudia el sistema pared de vidrio – control solar como elemento arquitectónico. Se sabe que el vidrio utilizado como pared externa, en clima tropical, tiene un comportamiento funesto para el confort ambiental interno, tanto desde el punto de vista térmico cuanto lumínico. Le Corbusier, después de sus frustradas experiencias con sus ventanas horizontales en África, propuso un interesante elemento de control solar: el brise-soleil que conquistó amplia difusión y muchísimos triunfos en lo que hoy se llama la Arquitectura Moderna en zonas tropicales. Sin embargo, algunas décadas después, este elemento fue abandonado, colocándose como principal crítica que dificulta la comunicación visual con el exterior. Se presenta aquí un estudio sobre brise-soléis móviles, manuales y/o automáticos, observando cuales son las consecuencias sobre ingreso de radiación solar, sobre niveles de iluminación conseguidos y obstrucción visual do elemento “pared de vidrio-control solar”.

PALABRAS CLAVES: Arquitectura bioclimática; control solar; iluminación natural.

INTRODUCCIÓN.

Numerosos trabajos de investigación o conceptualización afirman que las paredes de vidrio resultan inconvenientes para propiciar confort térmico dentro de las construcciones en clima tropical. El efecto invernadero y el bloqueo de los vientos que ayudan en la evapotranspiración son argumentos suficientes para condenar este elemento arquitectónico. Sin embargo, no se hace mención de que estos fenómenos son verdaderos si el espacio del cual se trata está enclaustrado por el elemento de vidrio y expuesto a la radiación solar directa.

Es sabido que, en clima tropical, el elemento más importante de una construcción horizontal es un techo extenso (mejor si reflexivo en su parte expuesta a la radiación solar, y aislado térmicamente en su parte interna) y, como estrategia de uso, una abundante ventilación penetrando totalmente el área habitada. La disposición de paredes sólo debería justificarse principalmente por cuestiones de privacidad o seguridad.

Dejando de lado estos dos aspectos (dándose por sentado que están contemplados en el proyecto arquitectónico), otra cualidad del elemento pared es la de parar el viento en ciertas condiciones - bien porque su velocidad sea excesiva, o porque traiga lluvia horizontal, o arrastre polvo o elementos indeseables para dentro del recinto habitado - conseguido preferentemente por elementos de cierre provisorio, que se puedan remover cuando el viento retorne a su pasar benéfico.

Otra necesidad, no siempre tan explícita cuanto la anterior, es no permitir una renovación del aire cuando éste tenga una temperatura por encima de la interna, en el caso de que el edificio esté desocupado. El espacio sombreado y cerrado durante el día, y abierto a la ventilación nocturna, mantendrá una temperatura del aire y de las superficies internas por debajo de la temperatura que tendría si hubiese estado ventilado durante el día, propiciando de esta manera un ambiente más confortable durante el período de ocupación. También en este caso necesitamos elementos móviles para controlar el flujo de aire.

La pared de vidrio, cuando articulada de forma a controlar el viento y con elementos externos que permitan controlar la radiación solar (la directa del Sol, difusa del cielo y el albedo del entorno) resulta en extremo conveniente, permitiendo a su vez una comunicación visual estrecha entre el espacio interno y la naturaleza exterior, así como una deseable y provechosa iluminación natural.

De esta forma, si bien el elemento vidrio constituyendo una pared expuesta y cerrada es totalmente indeseable en clima tropical, el conjunto “vidrio articulado y con control de la radiación” constituye un elemento del proyecto arquitectónico en extremo beneficioso y rico en matices.

¹ corbella@gb.com.br – Professor Titular FAU/UFRJ - Pesquisador do CNPq.

² flaviaps@ig.com.br – Mestre em Arquitetura.

Se debe considerar que el elemento de control solar no debe interferir, o hacerlo lo menos posible, con la comunicación visual interior exterior. Muchas de las quejas de los arquitectos brasileños sobre el brise-soleil se basan en que este elemento dificulta tanto la visión (Factor de obstrucción visual) que es preferible no utilizarlo. Personalmente creemos que en muchos casos tenían razón pues, o no estaban diseñados correctamente, o en el caso de ser móviles, permanecían en cualquier posición fija, debido a la falta de mantenimiento, obstruyendo la visión y dejando pasar radiación solar directa, con las consecuencias imaginables. En la Figura 1 se comparan los factores de obstrucción visual para los brises colocados a 45 y 90 con relación a la fachada.

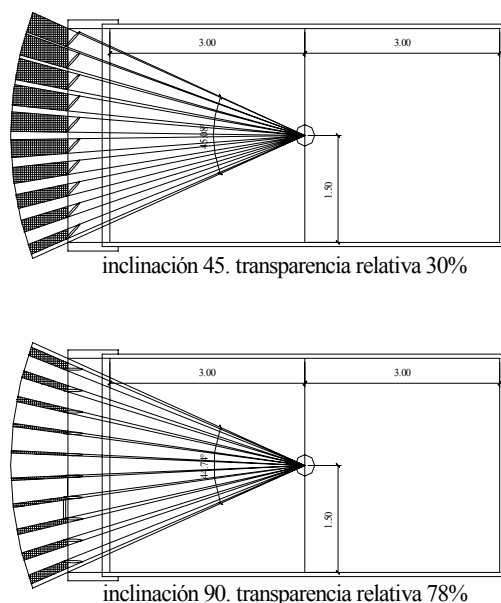


Figura 1 – Comparación entre la visibilidad con brises a 45° e a 90° en el modelo de experimentación, para un observador en el centro de la sala.

El aparentemente complejo sistema “pared de vidrio – sistemas de control solar” surgido al final de la primera mitad del siglo XX, resulta simple cuando comparado con los complicados mecanismos de cierre que ostentan las ventanas europeas de la misma época. En éstas, normalmente puede contarse con más de una decena de planos (de material sólido o tejidos) para minimizar las pérdidas térmicas, optimizar la entrada de energía solar directa, o solamente la difusa, a fin de obtener una iluminación natural bien distribuida, o ventilar el ambiente dejando entrar o no, radiación solar. Comparado el cierre de esas aberturas al sistema de vidrios móviles, protegidos con brise-soleils móviles, este último sistema puede ser considerado sencillo y simple.

Por otro lado, en los edificios tipo cortina de vidrio, cuyo proyecto arquitectónico fue copiado de los norteamericanos y europeos, las ventanas (o aberturas en las paredes) permanecen siempre cerradas, pues la única manera de habitarlos es con el aire acondicionado funcionando a pleno durante todo el período de ocupación. Si bien cortinas interiores permiten evitar que la radiación solar directa incida sobre las personas, éstas no evitan el efecto invernadero y el consecuente calentamiento del aire interior (sólo solucionable con el uso de aire acondicionado).

Los brise-soleils móviles pueden, conforme la posibilidad de regularlos que tengan los sistemas desarrollados, bloquear toda, o gran parte de, la radiación incidente sobre las fachadas y, si fuesen automatizados, ser programados para minimizar la obstrucción visual siguiendo parámetros específicos que cuantifiquen su movimiento, por ejemplo, para que minimicen la carga térmica producida por la energía solar que ingresa y mantengan el nivel de iluminación deseado.

Otra característica típica de los sistemas de brises-soleil se refiere a la mejor distribución de luz natural con la profundidad del ambiente, una vez que los parasoles disminuyen la iluminancia en la región cercana a la superficie de vidrio, reflejando y proyectando parte de la radiación hacia el techo, lo que aumenta los niveles de iluminación en las zonas más profundas del ambiente.

MÉTODO EXPERIMENTAL.

La experimentación con maquetas reducidas es una manera excelente de estudiar el comportamiento de la luz. Es reconocido que producen resultados precisos para validar el desempeño lumínico en la mayoría de las situaciones, no sufriendo distorsiones debido a la reducción de la escala, y resultan igualmente útiles en análisis comparativos, principalmente a través de mediciones del Factor de Luz Diurna.

Para este trabajo, se usó un modelo reducido en escala 1:10, con una pared abierta, en la que fueron posicionadas sistemas de brises-soléis con diferentes características de operación: como elemento de referencia fue utilizado el modelo con la abertura desprovista de brises, en el segundo caso se empleó un conjunto de brises móviles con inclinación prefijada de acuerdo con el período del año y orientación tratado; el tercer caso propuso un sistema automatizado en base al principio fototrópico, o sea, que incline suficientemente las paletas de modo a obstruir totalmente la componente directa de la radiación. El cuarto y

último caso presenta como opción un sistema automatizado por medio de una programación micro procesada, que además de considerar el movimiento aparente del sol para el bloqueo de la radiación directa, opera según parámetros de límites máximo y mínimo de iluminancia junto a la abertura y en la región más profunda del ambiente, respectivamente, repositando os parasoles, cuando resultase necesario, para atender los niveles especificados³.

La medida de los niveles de iluminación fue realizada por medio de un equipo (Megatron) compuesto por una fotocélula externa de referencia relacionada a 12 células internas, proporcionando valores directos del Factor de Luz Diurna. A pesar de que la utilización de modelos en escala no sea directamente recomendable para simulaciones de comportamiento térmico, se midieron los valores de la radiación transmitida lateralmente (sobre el plano vertical) por el sistema, próximo a abertura, comparándose los con los valores externos tomados en plano vertical y con la radiación global (en plano horizontal) usando un solarímetro (figura 2). De esta forma fue posible la evaluación (fundamentalmente comparativa) de los valores del potencial térmico transmitido por los sistemas de brises propuestos.

Fueron realizadas medidas cercanas al período del equinoccio de otoño de 2004, en la ciudad de Rio de Janeiro, latitud 22°54'S, en intervalos horarios entre las 07:00 e las 17:00 h., en las cuatro orientaciones principales.

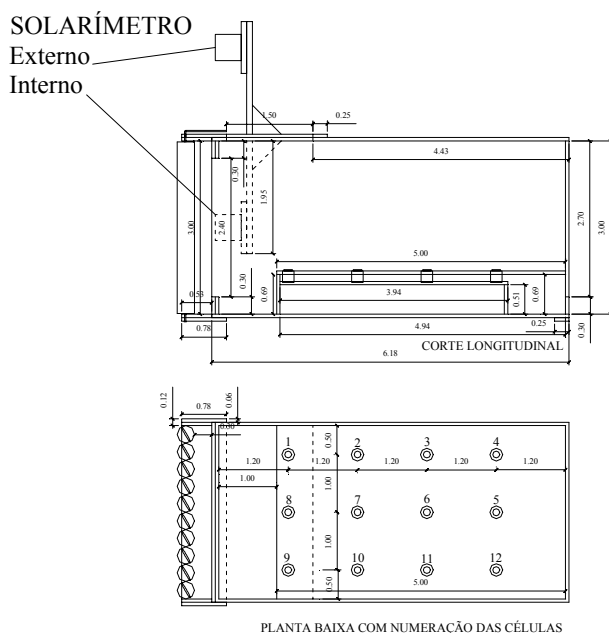


Figura 2 - Proyecto do modelo reducido con disposición del sistema de brises y células de medición.

RESULTADOS.

Los valores obtenidos demostraron que, para cualquier horario y orientación (inclusive Sur⁴), el uso de *brises soléis* móviles como sistema de protección de las fachadas, sea cual fuese el sistema adoptado, es ampliamente ventajoso cuando se lo compara con las aberturas sin protección, tanto desde el punto de vista térmico cuanto lumínico, en condiciones de cielos claros y previsiblemente sobre cielos cubiertos con gran luminancia.

También, desde el punto de vista lumínico se verificó que la interposición de los parasoles funciona como filtro contra la excesiva luminosidad decurrente tanto de la radiación directa, cuanto de origen indirecta, sea para cielos claros o difusos, especialmente en las posiciones próximas a la abertura, donde los factores de luz diurna medidos frecuentemente ultrapasan 25%, lo que en un cielo como el de Rio de Janeiro, que propicia iluminancias exteriores medias entorno de 60.000 lux, significa valores mayores que 15.000 lux, registradas, hasta la mitad de la profundidad del ambiente modelado, para aberturas no protegidas.

En las medidas con el modelo sin protección, con orientación Este, en condición de cielo claro, fue medido un valor acumulado aproximado de 2.548 Wh/m² para el período de la mañana y 411 Wh/m² durante la tarde, totalizando, para una abertura correspondiente a 7,2 m², un valor diario de 21.304 Wh de radiación incidente (recuérdese de que el vidrio se comporta de manera transparente para la mayoría de las longitudes de onda).

³ El trabajo experimental aquí relatado sirvió de base a la Disertación de Maestría de uno de los autores (Bonnet, 2004)

⁴ Existe una creencia generalizada entre los arquitectos brasileños de que una pared de vidrio orientada para el Sur no necesita protección solar. La pared sur formada por un único paño de vidrio del paradigmático edificio del MEC (Palacio Gustavo Capanema), refuerza esta convicción. Sin embargo, fue demostrado en manera fehaciente, por medio de simulaciones de valores integrados de energía solar durante los tres meses del período que comprende el solsticio de verano, que la pared Sur puede recibir una incidencia de radiación solar mayor que la norte para latitudes mayores que 12° y menores que 30°. Siendo este período el de temperaturas más elevadas, esta protección se muestra totalmente necesaria (Corbella e Yannas, 2003; Corbella e Castanheiras, 2002). Sobre el edificio del MEC y sus brise-soleils puede consultarse el trabajo de Almodóvar Melendo (2004).

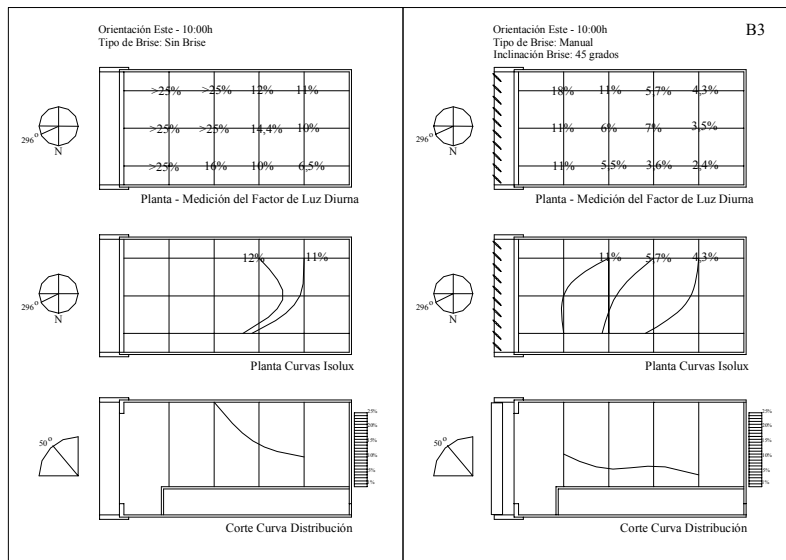


Figura 3 Gráficos del Factor de Luz Diurna, curvas Isolux y distribución longitudinal para abertura sin Brise y abertura con Brise Móvil Manual, orientación Este, 10:00hs.

En la fachada Norte fueron medidos valores acumulados de aproximadamente 1.540 Wh/m² durante el período de la mañana, (y, por simetría, igual valor por la tarde), sumando una ganancia energética diaria total próxima de 22.176 Wh, semejante a las obtenidas para las fachadas Este u Oeste, para el mismo período equinoccial.

Las mediciones para la orientación Este, realizadas con el sistema manual, dotado de paletas verticales reguladas a 45° con relación al Norte, revelaron que el mismo ofrece mejor resultado a partir de, aproximadamente, las 09:30 h. en el período de la mañana (simétrico al horario de 14:30 h. del mismo sistema en la fachada Oeste), cuando el conjunto de parasoles bloquea efectivamente la totalidad de la radiación directa incidente (figura 3). Durante el período entre las 06:00 e las 09:30 h. (correspondiente a las 14:30 a las 18:00h. para el orientado a Oeste), el sistema se torna permeable a parte de la radiación incidente, ocasionando una considerable ganancia energética y, probablemente, desconfort visual para las actividades de trabajo.

Las ganancias energéticas del período matinal suman 1.270 Wh/m², totalizando, en el período, 9.144 Wh, aproximadamente mitad de la ganancia para la abertura sin brises en la misma orientación (ver figura 6), durante la mañana, siendo considerado un valor bastante elevado para el sistema. En el período de la tarde, la misma abertura recibe una ganancia acumulada de 206 Wh/m², totalizando 10.627Wh de incidencia energética diaria.

Son relevantes los aspectos de intrusión visual ocasionada por el ángulo fijado para los parasoles del sistema, en estas orientaciones, reduciendo en mucho la visibilidad exterior, a partir de la mayoría de las posiciones ocupadas en el interior del ambiente.

Brise Fototrópico

Para las orientaciones Norte y Sur, se evidenció un comportamiento idéntico al sistema manual de brises, fijos en 90° con relación a la fachada, en sus respectivos sentidos, para el período analizado. Sin embargo, se estima que este principio de automatización se justifique para la orientación Norte en el período de invierno, cuando las menores alturas solares tornen bastante conveniente la rotación de las paletas horizontales.

Sobre el punto de vista de la visibilidad, se observó que el sistema que se limita a inclinaciones mínimas en el posicionamiento de las paletas, solo para el bloqueo de la incidencia solar directa, proporciona también menor intrusión visual para el ocupante, además de establecer un comportamiento dinámico estrechamente relacionado con las condiciones naturales exteriores.

Para la orientación Este, en el período de la mañana, fueron medidos valores acumulados de 637 Wh/m², lo que representa la mitad del valor acumulado por el sistema manual de brises (figura 4). Por la tarde, el sistema fototrópico causa una ganancia energética ligeramente superior al otro sistema mencionado, debido a la abertura máxima de los parasoles presentada en ese período. Al término de un día, para la abertura en cuestión, el conjunto fototrópico transmitió un monto energético aproximado de 6.519 Wh, equivalente a 30% de la cantidad recibida por la abertura no protegida y 61% de lo transmitido por el sistema manual (figura 6).

EVALUACIÓN DE RADIACIÓN SOLAR					
Mediciones de campo con modelo reducido					
FECHA:	8/3/2004	HORA inicio:	08:48	LOCAL:	Rio de Janeiro
CIELO:	t4	HORA término:	08:50	RAD. GLOBAL (W/m ²):	513
ALT. SOLAR:	40	AZIM:	287	RAD. LAT. EXTERNA:	685
ORIENTACIÓN:	leste	TEMP:	28	RAD. LAT. INTERNA:	513
ILUMINANCIA EXT (Lux)	30.000/69.000	TIPO DE BRISE:	manual	INCLINACIÓN BRISE:	45
Factor de Luz Diurna - FLD (células internas)					
1 >25	8 >25	9 >25			
2	17 7	17 10		17	
3	10,2 6	12 11		12	
4	8,5 5	8,3 12		8,7	
EVALUACIÓN DE RADIACIÓN SOLAR					
Mediciones de campo con modelo reducido					
FECHA:	8/3/2004	HORA inicio:	08:52	LOCAL:	Rio de Janeiro
CIELO:	t4	HORA término:	08:53	RAD. GLOBAL (W/m ²):	532
ORIENTACIÓN:	40	AZIM:	287	RAD. LAT. EXTERNA:	658
ORIENTACIÓN:	leste	TEMP:	28	RAD. LAT. INTERNA:	156
ILUMINANCIA EXT (Lux)	30.000/70.000	TIPO DE BRISE:	fototrópico	INCLINACIÓN BRISE:	40
Factor de Luz Diurna - FLD (células internas)					
1 >25	8	20 9		19,6	
2	13 7	13 10		12,4	
3	7,7 6	8,8 11		8,7	
4	6,7 5	6,5 12		6,7	

Figura 4 – Comparación entre los valores de la radiación transmitida e el FLD entre los brises manual y fototrópico.

Brise Programmable

No obstante que con una programación bastante simplificada, el sistema evaluado se comportó en forma igual o superior a los demás en todas las situaciones medidas, presentando los menores valores para los aportes energéticos parciales y totales, además de mejores niveles de iluminación internos (figura 5) y curvas de distribución más homogéneas, presentándose con inclinación bastante reducida en los gráficos de distribución longitudinal, sea cual fuese la orientación. Fueron medidos aportes diarios totales de 4.705Wh en las fachadas Este y Oeste, representando 72% de la ganancia obtenida con el sistema fototrópico y apenas 22% de la radiación total incidente en la misma abertura sin protección (figura 6).

La mayor restricción, y tal vez la única, en el funcionamiento del sistema programable está en el control paramétrico de valores máximos de iluminancia que frecuentemente regula los parasoles en ángulos bastante reducidos en relación a la fachada y, si por un lado garantiza calidad lumínica, evitando situaciones de deslumbramiento y con ganancias energéticas (térmicas) mínimas, por otro trae una pérdida significativa de visibilidad exterior, constituyéndose en el sistema con mayor intrusión visual entre los expuestos.

EVALUACIÓN DE RADIACIÓN SOLAR					
Mediciones de campo con modelo reducido					
FECHA:	9/mar	HORA inicio:	15:51	LOCAL:	Rio de Janeiro
CIELO:	t4	HORA término:	15:54	RAD. GLOBAL (W/m ²):	404
ALT. SOLAR:	35	AZIM:	80	RAD. LAT. EXTERNA:	674
ORIENTACIÓN:	oeste	TEMP:	32	RAD. LAT. INTERNA:	176
ILUMINANCIA EXT (Lux)	59700	TIPO DE BRISE:	fototrópico	INCLINACIÓN BRISE:	40
Factor de Luz Diurna - FLD (células internas)					
1 >25	8 >25	9 >25			
2	12,8	7 14,6		10	15
3	7,2	6 9,6		11	10
4	6,8	5 6,6		12	7,2
EVALUACIÓN DE RADIACIÓN SOLAR					
Mediciones de campo con modelo reducido					
FECHA:	9/mar	HORA inicio:	15:55	LOCAL:	Rio de Janeiro
FECHA:	t4	HORA término:	15:57	RAD. GLOBAL (W/m ²):	376
ALT. SOLAR:	35	AZIM:	80	RAD. LAT. EXTERNA:	672
ORIENTACIÓN:	oeste	TEMP:	32	RAD. LAT. INTERNA:	72
ILUMINANCIA EXT (Lux)	57000	TIPO DE BRISE:	programable	INCLINACIÓN BRISE:	10
Factor de Luz Diurna - FLD (células internas)					
1	10,4	8 8,7		9 6,9	
2	5,5	7 5,5		10	5
3	3,3	6 3,8		11	3,8
4	3,1	5 2,9-850lux		12	2,8

Figura 5 – Tablas de valores de la radiación transmitida e el FLD para brises fototrópico e programable.

CONCLUSIONES.

Esta investigación muestra, según las mediciones realizadas, que es posible a través del uso de sistemas automáticos fototrópicos o programables, reducir en un 40% o hasta un 60%, respectivamente, la incidencia de radiación solar en la fachada en comparación con el sistema de regulación manual. Lo que corrobora la propuesta de pensar el elemento conjunto “pared de vidrio articulada-protección solar” con las actuales posibilidades tecnológicas.

Un análisis comparativo entre los dos sistemas automatizados, fototrópico y programable, que privilegie las calidades de cada uno, establecería, de modo general, una diferenciación por los criterios de uso supuestos para la edificación: la aplicación de sistemas fototrópicos sería más apreciada en casos donde los objetivos pretendidos sean la eficiencia energética y el confort ambiental, sin detrimento de la visibilidad exterior, objeto de interés de los usuarios, propiciando una mayor relación con el entorno y aspectos naturales circundantes, en cuanto el sistema programable sería aplicado en edificaciones de trabajo, normalmente de mayor porte, donde los criterios objetivos de confort visual e desempeño energético sean los más importantes presupuestos, resultando en un tratamiento altamente eficiente, justificando la considerable inversión involucrada. En estos casos, los ambientes con aberturas en más de una orientación posibilitarían, todavía, una mejora de la condición de visibilidad externa, en función de las diferencias de posición de las paletas en orientaciones distintas.

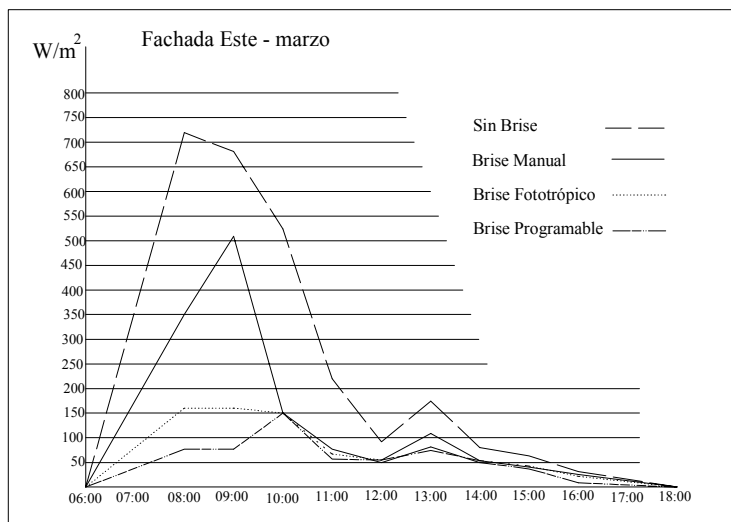


Figura 6 – Gráfico de los aportes energéticos horarios de los diferentes sistemas con orientación Este.

Concluyese, también, que, aunque sean menos eficientes que los dispositivos automáticos, los sistemas móviles con control manual serían bastante efectivos en ambientes donde la cultura de los usuarios permitiese su uso adecuado. En determinados casos de edificaciones cuyas administraciones cuenten con sectores de gerencia operacional y energética, sería razonable una estrategia de regulación de los sistemas según la estación climática, de forma a optimizar el comportamiento energético y la calidad ambiental del edificio.

Confirmase, todavía, a variabilidad de la eficiencia potencial del sistema “pared de vidrio-protección solar” con la estación climática, de acuerdo con la orientación, siendo, en forma simplificada, mayor para las fachadas Sur, Este y Oeste en el verano y, en el invierno, para a orientación Norte, en el caso de la ciudad de Rio de Janeiro. También fue constatado que, para el mismo local, el uso de sistemas automáticos para la orientación Sur puede ser substituido, sin grandes alteraciones en el balance energético-ambiental, por un sistema fijo, con parasoles posicionados a 90° con relación a la fachada. En el caso de un sistema programable, se cuenta con la sofisticación de la regulación lumínica que justificaría, eventualmente, su adopción en este cuadrante.

BIBLIOGRAFIA

- Amodóvar Melengo, J. M. (2004). Da janela horizontal ao brise-soleil de Le Corbusier: análise ambiental da solução para o Ministério de Educação do Rio de Janeiro, Vitruvius, Arquitectos, www.vitruvius.com.br.
- Bonnet Alvarenga, R. (2004), Estudo e Desenvolvimento De *Brise Soleil* Automatizado Em Clima Tropical. Aplicação em Caso no Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado, PROARQ/FAU/UFRJ, Rio de Janeiro.
- Corbella, O. D. y Yannas, S., (2003). Em Busca de uma Arquitetura Sustentável para os Trópicos. Ed. Revan, Rio de Janeiro.
- Corbella, O. D. y Castanheira, R. (2001). Sobre a Necessidade de Proteção da Radiação Solar Incidente nas Fachadas Sul, para Edifícios entre as Latitudes 10° e 35°. Anais do VI ENCAC – Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, São Pedro, São Paulo.

ABSTRACT

This paper presents a study of the system “curtain wall-solar control” as an architectonic element. It is well known that the use of glass as external wall has, in tropical climates, a disastrous behaviour on the thermal and visual indoor comfort. Le Corbusier, after the difficulties with their experiences in Africa, due to the lack of thermal comfort driven by the horizontal windows, proposed one element for the solar radiation control that could enter in the house: the Brise-Soleil. This element had a big diffusion in several tropical regions as it would be seen in numerous buildings around the world, used widely by the Modern Architecture, developed in various countries. However, some decades later, the element was abandoned due fundamentally to the criticism about the hide of the indoor-outdoor communication. It is presented here a study about manual and automatic moving Brise-Soleils, looking for their consequences on the solar radiation inlet, the levels of daylighting and the visual obstruction supported by the element “glass-solar control”.

KEYWORDS: Bioclimatic architecture; solar control; daylighting.