



C

F o n d s

Fundación Príncipe Claus para
Cultura y el Desarrollo

INSTITUTO DE ARQUITECTURA TROPICAL
INSTITUTE FOR TROPICAL ARCHITECTURE

FUNDACION PRINCIPE CLAUS PARA LA CULTURA Y EL DESARROLLO
PRINCE CLAUS FUND FOR CULTURE & DEVELOPMENT

MODELO EXPERIMENTAL DE PLANTAS TREPADORAS COMO ELEMENTO DE SOMBRA

EXPERIMENTAL MODELLING OF DECIDUOUS CLIMBING PLANTS AS SHADING DEVICES

Marta Hoi Yan Lam BSc¹

Kenneth Ip MSc PhD CEng MCIBSE²

Andrew Miller BSc PhD CEng MCIBSE³

1.INTRODUCCION

Este informe reporta el progreso y pesquisas de investigación para evaluar el dosel creado por plantas caducas trepadoras verticales en edificios ventilados naturalmente, con respecto a la ganancia de radiación y la penetración de la luz solar.

En respuesta a los temas del calentamiento global, los arquitectos y planificadores están siendo motivados a introducir el concepto de la sostenibilidad en sus diseños. Una de las opciones es usar ventilación natural efectiva, aparejada con elementos de sombra, para reducir la ganancia de calor en los edificios. Parasoles metálicos fijos en ángulo han sido aplicados ampliamente, pero son útiles sólo en condiciones de verano (en Europa) y más bien impiden la ganancia solar necesaria en invierno. Parasoles metálicos de ángulo variable y controlados en respuesta a las condiciones climáticas, son muy caros y complejos para la mayoría de los edificios. Esta investigación introduce un bio-elemento de sombra que no sólo regula las ganancias solares, sino también mejora la calidad del aire y aporta un ambiente placentero.

Las plantas que crecen directamente en las fachadas de los edificios han sido también usadas por sus ventajas térmicas. Sin embargo en esta investigación, las plantas crecen en un soporte externo a la fachada del edificio y ventanas. Esta configuración complementa muchos de los diseños bioclimáticos de los edificios ventilados naturalmente. Los resultados de esta investigación proveerán la información necesaria para la adopción de esta opción de diseño.

1. INTRODUCTION

This paper reports on the current progress and findings of research on the performance evaluation of a vertical climbing deciduous plant canopy on naturally ventilated buildings with respect to solar heat gain and daylight penetration.

In response to the issues of global warming, building designers, planners and architects are encouraged to introduce more sustainable building designs. One of the options is to use effective natural ventilation coupled with shading devices to reduce solar gain into buildings. Fixed angle metal shading devices have been widely used but they are normally designed for summer design conditions (Europe) and do not make use of the winter solar gain. Variable angle solar shading devices are controlled in response to the weather conditions but they are expensive and complex for most building design. This paper introduces a bio-shading device which not only regulates the solar gains, but also improves the air quality as well as providing an aesthetically pleasing surroundings.

The use of plants growing directly on building facades has long been used and known for its thermal advantages. However in this research, the climbing plants are grown on a support framework external to the building facades and windows. This configuration complements many of the current 'bioclimatic' design of naturally ventilated buildings. Results from this research will provide the necessary performance data for the adoption of this design option.

2. INVESTIGACIONES RELACIONADAS

La arquitectura bioclimática describe una aproximación al diseño del edificio inspirado en la naturaleza y aplica una lógica sostenible a cada aspecto del proyecto, enfocado en optimizar y utilizar el ambiente que lo circunda.

Es una metodología corriente en el diseño de edificios sostenibles. Algunos objetivos de los diseños bioclimáticos, pueden alcanzarse introduciendo plantas que crezcan y cubran la piel del edificio.

El uso de vegetación para mejorar el microclima de los edificios, ha sido investigado ampliamente por numerosos investigadores alrededor del mundo. Aún cuando sus métodos varían, prácticamente todos los resultados confirman que es un método que mejora el bienestar de los usuarios del edificio. La tabla 1 es un resumen de los experimentos claves realizados en este campo. La mayoría se refiere a experimentos relacionados con plantas que trepan adheridas sobre la pared directamente, algunas con pantallas inclinadas y horizontales, una usando árboles caducifolios y uno usando plantas en macetas pequeñas. Todos los resultados muestran que la radiación solar y la temperatura se reduce con el uso de vegetación.

3. METODOLOGIA

Como indicado en Sección 2, la mayoría de los investigadores se enfocaron en plantas que trepan directamente por las fachadas. Con este tipo de solución, las plantas actúan sólo como cobertoras, que mejoran las condiciones térmicas internas del edificio reduciendo la ganancia y pérdida de calor. Este tipo de diseño con bio-sombra tiene sus limitaciones en los edificios modernos. Sin embargo, la resistencia térmica es más barata y fácil de conseguir por aislamiento térmico en paredes de albañilería, considerando que el crecimiento directo de plantas en paredes ligeras externas no es apropiado en la mayoría de los casos.

2. RELATED RESEARCH

Bioclimatic describes an approach to building design which inspired by nature and applies a sustained logic to every aspect of a project, focused on optimising and using the surrounding environment. It is a common methodology used in the design of sustainable buildings. Some of the bioclimatic design objectives can be achieved by introducing plant growth covering the building fabric.

The use of vegetation to improve the building's microclimate has long been investigated by a number of researchers around the world. Although their methods varied, nearly all the results confirmed that using vegetation around buildings could provide a better comfort for the occupants. Table 1 is a summary of the key experiments done by researchers in this field. Most experiments were related with climbing plants directly attached to building walls, some with inclined and horizontal sunscreens; one using deciduous trees and one using small potted plants. All results showed that solar radiation and temperatures were reduced with the use of vegetation.

3. RESEARCH RATIONALE

As indicated in Section 2, most of the researches were focused on climbing plants directly attached to building facades. With such kind of arrangement, the climbing plants act solely as a cover to the wall which improves the thermal condition of the building interior by reducing heat gain and heat loss. This type of bio-shading design has its limitations in modern buildings. Nowadays, thermal resistance is much cheaper and easier to be achieved by thermal insulation in masonry walls, whereas plant growth directly on lightweight external curtain walls is not suitable in most cases.

Tabla 1 RESUMEN DE EXPERIMENTOS Y RESULTADOS DE INVESTIGACIONES RELACIONADAS A LA BIO-SOMBRA.

Autor ano	Ubicación	Tipo de planta	Distancia a la pared	Parámetros medidos	Resultados
Hoyano 1988	Fukuoka City, Japan	pantalla horizontal de wisteria	N/A	Temperaturas de la superficie superior e inferior de la pantalla	2°C + en la parte superior de la pantalla
Hoyano 1988	Universidad Kyushu, Japón	Pantalla de enredadera (ángulo de inclinación 35° en relación al sol) en corredor	N/A	Corredor con y sin pantalla de enredadera	Corredor sin enredadera 1-3°C +
Hoyano 1988	Tokyo, Japón	pared cubierta por ivy adherida en fachada este	adherida	Pared con y sin cubierta de ivy	18°C menos con cubierta de ivy
Di, Wang 1999	China	pared cubierta de ivy en Universidad de Tsinghua	adherida	T del ivy y pared. Pared con y sin ivy.	La T de la hoja era 8.2°C + alta que la pared de abajo. La T de la hoja era 4.5°C menor que en pared desnuda.
Cantuaria 2000	Londres	Virginia Creeper adherida a pared	adherida	Pared con y sin creeper	Pared con vegetación 10°C menos que pared desnuda.
Ong, Lim, Chen 2000	Singapur	Parapeto al sur con plantas en maceta	N/A	Parapeto con y sin plantas en macetas	Parapeto con plantas era 4°C menos
Papadakis 2001	Atenas, Grecia	Arboles caducifolios	No se menciona	Pared con y sin sombra de árboles	Pared soleada 600W/ m ² de radiación solar, y 100W/m ² pared a la sombra

Este diseño provee varios beneficios. Puede aplicarse a la mayoría de las fachadas y permite un acceso fácil a la planta, para su mantenimiento. Además de sombrear, la radiación solar en respuesta a las condiciones climáticas estacionales, la distancia entre la planta y la ventana también actúa como una zona de amortiguación climática. Las propiedades del aire se modifican cuando pasan por las capas de vegetación, proveyendo aire de mejor calidad y menor temperatura en el verano.

Actualmente existe poca recopilación de datos disponible para este tipo de diseño de prospección bioclimático. Esta investigación persigue proveer de los datos necesarios que evalúen el desempeño de esta bio-sombra, el resultado del ambiente interno así como las implicaciones energéticas para los requisitos térmicos y de iluminación.

This design provides several benefits. It can be applied to most building facades and allows easy access for plant maintenance. Apart from shading the solar irradiation in response to the seasonal weather conditions, the gap in between the plant layer and the building window also acts as a climate buffer zone. Air properties will be modified when passing through the plant layer, thus providing better air quality and lower air temperature in the summer.

Currently, there are very limited performance data available for this kind of prospective bioclimatic design. The current research therefore aims to provide the necessary design data for evaluating the performance of this bio-shader, the resulting indoor environment as well as the energy implications on

4. PLANT SELECTION/SELECCION DE PLANTAS

TABLE 2 SELECTION CRITERIA OF CLIMBING PLANTS FOR USE AS BIO-SHADING DEVICES.
CRITERIO DE SELECCION PARA PLANTAS TREPADORAS USADAS COMO ELEMENTOS DE BIO-SOMBRA

Factor	Possible criteria	Selection criteria	Details
Growth rate	Slow, moderately fast, vigorous	Vigorous or fast	Limitation of research time for plant growth
Leaf size	Large, small	Large	Larger leaf creates large shading effect
Height climber can reach	High level, low level	Higher level	The higher the climber can reach, the greater coverage
Winter temperature tolerance	Fully hardy (withstand temp down to -15°C), frost hardy (withstand temp down to -5°C), half hardy (withstand temp down to 0°C) (Brickell 1999)	Fully hardy	Fully hardy plant can sustain through cold winter times
Maintenance	High, Low	Low	The frequencies of watering, pruning and adding fertilizers increase the overall cost. Lower these costs attracts designers and clients to adopt this kind of design
Orientation/ Sun preference	Full sun, partial shade, shade	Full sun	Full sun to act as shading device.
Weather tolerance	Costal, sheltered, windy etc.	High tolerance	Climber able to withstand adverse weather conditions
Types of soil	Sandy, coarsely, acidity, alkalinity etc.	Moist, humus-rich, loose-packed	Maintaining nutrients in the soil for climber to absorb will enable prosperous growth
Climbing patterns	Adhesive, twining, clinging	Twining or clinging	Climbing framework for the climber to grow on. So adhesive type is not suitable

4.1 Criterio de selección

La integración de vegetación en la arquitectura contemporánea, presenta una novedosa oportunidad de diseño para arquitectos y diseñadores. Al incorporar plantas trepadoras exteriores al edificio, la selección adecuada de plantas es muy importante. La siguiente tabla muestra el criterio de selección considerado en esta investigación.

4.2 Plantas para el clima del Reino Unido

Esta investigación se realizará en el sur de Inglaterra, donde la temperatura promedio es pocos grados mayor que en otras partes del reino, con primaveras tempranas, veranos mas calurosos e inviernos mas templados. La temperatura invernal más baja es raramente inferior a -5° C. Hay brisas constantes desde la costa y vientos fuertes ocasionales.

4.1 Selection criteria

The integration of greenery onto contemporary architecture presents a novel design opportunity for designers and architects. When incorporating climbing plants external to buildings, the selection of suitable plant is very important. Table 2 shows a summary of the selection criteria that were considered in this research.

4.2 Plants for the United Kingdom climate

This research will be done in the southern part of England where the average temperature is a few degrees warmer than most parts of the United Kingdom, with earlier springs, warmer summers and milder winters. The lowest winter temperature is rarely below -5°C. There are constant onshore breezes with occasional strong winds.

Considerando las condiciones regionales locales y el criterio identificado en Sección 4.1, numerosas plantas trepadoras fueron seleccionadas. Se muestran en la Tabla 3 en orden de adecuación para esta investigación.

Taking the locality regional weather conditions and the criteria identified in Section 4.1, a number of possible climbing plants were selected. These are shown in Table 3 in order of their suitability to this research.

TABLE 3 SUMMARY OF CLIMBERS IN ORDER OF THEIR SUITABILITY FOR USE AS BIO-SHADER IN THE SOUTHERN PART OF THE UNITED KINGDOM. BASED ON PLANT CHARACTERISTICS DESCRIBED IN BRICKELL (1999) CHESSHIRE (2001).

Species	Common Name	Evergreen/Deciduous	Hardy	Climbing method	Height (m)	Growth rate	Leaf / Flower	Soil type	Pruning
<i>Parthenocissus quinquefolia</i>	Virginia Creeper	Deciduous	Fully hardy	Twining	6 to 12	Fast, tall and spreading	Very large 5-oval leaflets	Fertile/free-draining	Early spring
<i>Polygonum baldschuanicum</i>	Russian vine	Deciduous (Woody)	Fully hardy	Twining	5 m/ year	Very tough	Small chains flower	Any reasonable	
<i>Parthenocissus tricuspidata</i>	Boston Ivy	Deciduous	Fully hardy	Twining	6 to 15	Fast, tall and spreading	3-lobed leaves	Fertile/free-draining	Early spring
<i>Wisteria sinensis</i>	Wisteria	Deciduous	Fully hardy	Twining	Up to 30m	Rampant	Hanging blue flowers	Any reasonable	
<i>Vitis coignetiae</i>	Vines	Deciduous	Half hardy	Tendrils	Up to 20m	Fast	Very large leaves	Free-draining, alkaline soil	

La planta trepadora más apropiada para usar en esta investigación es la Virginia Creeper. Su especial característica “hojas largas de 5 ovalos” la hacen un buen elemento para bio-sombra. Además, es alta, de rápido crecimiento, y requiere poda sólo al comienzo de la primavera. Esto es más ventajoso que la enredadera rusa que requiere frecuentes podas debido a su exesivo crecimiento rastrero. Las hojas de Wisteria son pequeñas y por lo tanto su eficiencia como sombra es inferior a la de Virginia Creeper. Por otra parte, *Vitis Coignetiae* es la mitad de dura lo cual puede ocasionar que no resista el frío del invierno. En resumen, la Virginia Creeper es la mejor opción.

The most appropriate climbing plant to be used in this research is Virginia Creeper. The unique ‘large 5-oval leaflets’ character makes it a good bio-shading device. Also it is tall, fast spreading, and requires pruning only in early spring. This is relatively more advantageous than Russian vine which requires frequent pruning due to its excessive rampant growth. The leaves of Wisteria are small and so shading efficiency is lower than Virginia Creeper. Whereas, *Vitis Coignetiae* is only half hardy which may not withstand the winter cold. On balance, Virginia Creeper is the best option.

5. MODELO EXPERIMENTAL

El objetivo principal del experimento es medir la efectividad de un canopy de hojas caducas como elementos de sombra externos. Los elementos de sombra aplican a edificios ventilados naturalmente, en los cuales el aire es filtrado a través del canopy vegetal antes de entrar al edificio.

5. EXPERIMENTAL MODEL

The main aim of the experiment is to measure the effectiveness of a deciduous plant canopy as an external shading device. The shading device applies to naturally ventilated buildings, in which air will be filtered through the plant canopy before entering the building interior.

TABLE 4 A LIST OF PARAMETERS USED IN THE EXPERIMENTAL MODEL.

Factor / factor	Assumption
Room size / tamaño cuarto	20m ² (4m x 5m)
Nº of occupants/Nº de ocupantes	2
Height of model/altura modelo	3.2m
Lighting load/carga lumínica	15W/m ²
Electrical heat gains/ganancia eléctrica	250W
Heat output p/person/calor p/persona	110W
Window area/ área ventana	4m ²
Ventilation /ventilación	Cross ventilation/cruzada

5.2 Measuring parameters

Figure 1 Preliminary experimental model set-up and measuring parameters.

Table 5 Details of the parameters to be measured/ Detalles parámetros medición.

Location / Ubicación	Measuring parameters / Parámetros de medición
External surrounding Alrededores	Solar radiation / radiación solar
	Air temperature/tempetaura aire
	Humidity / humedad
	Wind velocity /velocidad viento
The canopy	Air temperature/tempetaura aire
	Humidity / humedad
	Plant coverage/cobertura
The gap . el vacío	Air gap temperature/ diferencia temperatura del aire
	Humidity / humedad
	Wind velocity /velocidad viento
	Solar radiation / radiación solar
Inside the building	Air temperature
	Humidity
	Ventilation rate
	Lighting level

El 20% del área de una ventana típica, operable será usada. Un vacío de unos 60 cms entre el edificio y el canopy vegetal es necesario para operar la ventana y tener acceso a las plantas para su mantenimiento. La ventilación se facilita con un ventilador de velocidad variable ubicado en la pared opuesta a la ventana abierta. (Fig.1).

Este ventilador se controlará por un sensor externo de presión del viento, para simular la fluctuación del flujo de aire debido a la presión. La Tabla 4 resume los otros parámetros usados en este experimento.

Los datos recogidos del modelo experimental posibilitarán la validación de los análisis térmicos teóricos, así como proveer la información necesaria para la simulación computarizada de la térmica dinámica. Los parámetros de medición (Fig.1) se pueden agrupar en 4 categorías:

Typical openable window area of 20% will be used. Agap distance of 600mm between the plant canopy and the building will be used to allow opening of windows and access for plant maintenance. Ventilation is facilitated by a variable speed fan situated at the opposite wall of the opening window (See Figure 1). This fan will be controlled by an external wind pressure sensor to simulate the fluctuation of airflow due to wind pressures. Table 4 summarises the other parameters used in the experiment.

The data collected from this experimental model will enable validation of theoretical thermal analyses as well as providing the necessary information for dynamic computer thermal simulation. The measuring parameters (see Figure 1) can be grouped into four categories:

- a) Alrededores
- b) Canopy
- c) Vacío entre el canopy vegetal y la fachada del edificio
- d) interior del edificio

Detalles de estos parámetros a medir, se resumen en la Tabla 5.

- a) External surroundings
- b) The canopy
- c) Gap between the canopy and the building facade
- d) Inside the building.

Details of the parameters to be measured are summarised in Table 5.

6. PROGRESO Y CONCLUSION

Un diseño bioclimático potencial, basado en una bio-sombra externa, usando las características naturales de las plantas trepadoras caducas es la propuesta de este informe.

La primera etapa de la investigación ha sido realizada, con la selección de la trepadora adecuada y el diseño del escenario experimental. Una revisión exhaustiva de otras investigaciones relacionadas ha sido llevada a cabo, así como la identificación de sus limitaciones. Esta revisión manifestó un desconocimiento en la comprensión de cómo funcionan las bio-sombras. Esta comprensión es necesaria para la aplicación de estos diseños. La siguiente etapa de la investigación es construir el modelo experimental y medir los datos necesarios para la evaluación de resultados. La meta es producir gráficos de diseño fáciles de usar así como un banco de datos necesario para la simulación computarizada de la dinámica térmica.

El diseño propuesto es novedoso y cuyos resultados se espera que excedan a los de las aplicaciones actuales de plantas que cubren directamente las paredes externas. La magnitud del impacto energético es reflejado en el resultado de un experimento que mide el efecto de enfriamiento de una pared cubierta por hiedra, que muestra una disminución del 28% en el momento álgido (Di 1999). El sistema propuesto ofrece sombra en verano y ganancia térmica en invierno. Agrega además beneficios estéticos y psicológicos al edificio y a sus ocupantes. Esta investigación por lo tanto, juega un papel importante en un diseño sostenible posible y establece los datos necesarios para su implementación.

6. PROGRESS AND CONCLUSION

A potential bioclimatic design based on an external bio-shader, making use of the natural growing characteristics of deciduous climbing plant has been proposed in this paper.

The first phase of this research has completed, concluding the selection of suitable climber to use and the design of the experimental set-up. A thorough review of other related researches has been carried out, and their limitations were identified. The review clearly showed a gap of knowledge in the understanding of how bio-shaders perform. Such understanding is necessary so that designers may be able to apply this kind of design. The next stage of the research is to construct the experimental model and to measure data necessary for the performance evaluation. The target outcome aims to produce easy to use graphical design charts as well as the database necessary for the dynamic computer thermal simulation software.

The proposed design is novel and the performance is expected to exceed current applications of direct plant cover on external walls. The magnitude of the energy impact is reflected by the results of an experiment measuring the cooling effect of ivy-covered wall, which showed a reduction of 28% of peak-cooling load (Di 1999). The proposed system offers not only summer solar shading, but also allows beneficial solar heat gain in winter. Moreover, it brings the much-appreciated aesthetic and psychological benefits to the building and its occupants. This research therefore plays a significant role in promoting a feasible sustainable design option; it also establishes the necessary design data for its implementation.

7. REFERENCES

Brickell C. 1999. *The Royal Horticultural Society new encyclopaedia of plants and flowers*, 3rd edition. Dorling Kindersley.

Cantuaria G. 2000. *A comparative study of the thermal performance of vegetation on building surfaces*. PLEA: Architecture, City, Environment, Cambridge, UK, pp312-313.

Chesshire C. 2001. *The Royal Horticultural Society Climbing Plants*. Dorling Kindersley.

Di H. F. and Wang D. N. 1999. Cooling effect of ivy on a wall. *Experimental Heat Transfer*. Vol. 12, no.3, pp235-345.

Hoyano A. 1988. Climatological uses of plans for solar control and the effects on the thermal environment of a building. *Energy and buildings*. Vol. 11, no.1-3, pp181-199.

Ong B.L., Lim G.T. et al. 2000. *A survey of the thermal effect of plants on the vertical sides of tall buildings in Singapore*. Passive Low Energy Architecture: Architecture, City, Environment, Cambridge, UK. pp495-500.

Papadakis G., Tsamis P. et al. 2001. An experimental investigation of the effect of shading with plants for solar control of buildings. *Energy and Buildings*. Vol. 33(2001), pp831-836.

Marta Hoi Yan Lam BSc¹
Kenneth Ip MSc PhD CEng MCIBSE²
Andrew Miller BSc PhD CEng MCIBSE³

¹ University of Brighton, School of the Environment,
Cockcroft Building, Lewes Road, Brighton, BN2 4GJ,
United Kingdom.