

INSTITUTO DE ARQUITECTURA TROPICAL

PROYECTO CASA AMIGABLE
CON EL AMBIENTE EN NANNING

- Un Caso de Estudio de Diseño Sostenible
en el Clima Caliente y Húmedo

por Akio Okumura, Jiang He, y Akira Hoyano

NANNING ENVIRONMENT-FRIENDLY-HOUSE PROJECT

- A Case Study on Sustainable Design
in the Hot and Humid Climate

by **Akio Okumura, Jiang He, and Akira Hoyano**



Prince Claus Fund for
Culture and Development

FUNDACION PRINCIPE CLAUS
PARA LA CULTURA Y EL DESARROLLO

Resumen

Un proyecto conjunto Sino-Japonés para construir una casa amigable ambientalmente fue llevada a cabo en una ciudad caliente y húmeda de China. Este edificio, como casa experimental, fue diseñada basándose en el clima local y en las condiciones de los materiales de construcción locales. El sistema solar utilizado en la construcción es el sistema solar de aire-exterior colector de calor, el cual, ha sido implementado en más de 10,000 hogares en Japón. Un método de enfriamiento pasivo ha sido propuesto al desarrollarse un nuevo tipo de ladrillo ventilado y muchas técnicas arquitectónicas son utilizadas. Se hicieron medidas para aclarar la efectividad de las técnicas pasivas de enfriamiento y la mira está puesta en ayudar a establecer una tecnología viable para el futuro desarrollo de construcción de viviendas amigables con el medio ambiente en las regiones al sur de China. Este trabajo describe los conceptos de diseño y construcción. Los descubrimientos acerca de los datos monitoreados son discutidos.

Palabras Clave: diseño orientado al clima, sistema solar de aire colector de calor, ventilación extractora en el techo, enfriamiento nocturno, almacenamiento de energía bajo el piso, ladrillo ventilado, pared ventilada.

1. INTRODUCCION

En años recientes muchas ciudades de China están en un auge de construcción debido a un alto crecimiento en la economía.

Los edificios de altura en concreto reforzado están siendo construidos exitosamente. Por otra parte, el edificio viejo está desapareciendo uno a uno. Para mejorar el nivel de vida en las regiones del sur, las familias adquieren un sistema de aire acondicionado para enfriar apenas lo pueden costear. Es un hecho que el consumo de energía en viviendas ha aumentando grandemente en los últimos años con el esparcimiento del aire-acondicionado para casas. La crisis en el suministro de electricidad doméstica se ha vuelto un problema serio a ser solucionado

Abstract

A Sino-Japanese joint project for building an environment-friendly house was carried out in a hot and humid city of China. This building as an experimental house was designed based on the local climate and conditions of the local building materials. The solar system used in the building is the outdoor-air heat-collecting solar system which has been applied to more than 10,000 homes in Japan. A passive cooling method has been proposed by developing a new type of ventilating brick, and a lot of architectural techniques are utilized. Measurements were made to make clear the effectiveness of the proposed passive cooling techniques, and the aim is to help establish a viable technology for the future development of environment-friendly dwelling construction in the southern regions of China. This paper describes the building and the design concepts. The findings from the monitored data are discussed.

Keywords: climate-oriented design, air heat-collecting solar system, roof exhausting ventilation, night cooling, under-floor energy storage, ventilating brick, ventilating wall.

1. INTRODUCTION

In recent years, many cities of China are in a rush of construction due to a high growth of economy. The high-rise reinforced concrete buildings are being constructed successively. On the other hand, the old building is disappearing one by one. To improve the living environment in the southern regions, the families are apt to buy an air-conditioner for cooling as soon as they can afford. It is a fact that the energy consumption at homes is greatly increasing with the spread of home air-conditioner during the past few years. A crisis in the domestic electricity supply has become a serious problem to be settled as soon as possible. It is urgent to suggest an appropriate instruction for improving the living environment from an environmental and conservation point of view. Therefore it is significant to construct energy-saving and environment-friendly

lo más pronto posible. Es urgente sugerir una instrucción adecuada para mejorar el entorno en el que vivimos desde un punto de vista medio-ambiental y de conservación. Por ende, es significativo construir edificios que ahorren energía y que sean amigables ambientalmente, en los cuales, una atmósfera sana y confortable pueda ser creada con menos ayuda de los sistemas de aire-acondicionado. Sin embargo, existe una faltante de ejemplos actuales disponibles para construir este tipo de edificio, especialmente en el sur de China. La Asociación Solar OM y el Instituto de Física Aplicada de la Academia de Ciencias de Guangxi han construido en conjunto un edificio experimental amigable con el entorno llamado “La Casa Solar Nanning de la Amistad Sino-Japonesa” en Nanning (la capital de la Región Autónoma de Guangxi Zhuang), con miras a demostrar un edificio con tecnología viable de enfriamiento pasivo para las regiones del sur. Sombra, aislamiento y ventilación tienen prioridad para las estrategias pasivas de enfriamiento basadas en las condiciones climáticas de la localidad. Un nuevo ladrillo ventilado ha sido desarrollado y utilizado en la superficie externa de la pared para aumentar la ventilación natural en las paredes. En la localidad, el ladrillo ha sido uno de los materiales más populares por mucho tiempo. Sin embargo, la producción imprudente de ladrillo ha resultado en un desbaratamiento ambiental. Este problema se agravará si las medidas apropiadas no son tomadas. Considerando la situación, un nuevo ladrillo hueco ha sido propuesto para el mejor uso del ladrillo.

2. CONCEPCIONES DE DISEÑO

La locación constructiva del edificio Nanning, está localizada en el Trópico de Cancer, un poco hacia el sur, alrededor de 200 km en las cercanías de la frontera con Vietnam. El calor solar (carga térmica) en las paredes sur y oeste es grande durante el verano. Como lo muestra la Fig. 1, el invierno es corto y tiene únicamente dos meses. Por otro lado, el verano es largo, con más de medio año, tanto como húmedo. Además, le

buildings where a healthy and comfortable living environment can be created with less help of air-conditioning system. To construct this type of the building, however, it is lack of the actual examples available, especially in the southern China. Aiming to demonstrate a viable technology of passive cooling building for the southern regions, OM Solar Association and Institute of Applied Physics of Guangxi Academy of Science have jointly constructed an experimental environment-friendly building named “The Nanning Sino-Japanese Friendship Solar House” in Nanning (the capital of Guangxi Zhuang Autonomous Region). Shading and insulation and ventilation are given priority to passive cooling strategies based on the climatic conditions of the locality. A new ventilating brick has been developed and used in the out finished surface of the wall for increasing natural exhausting ventilation in the walls. In the locality, brick is one of most popular building materials for a long time. However, reckless brick production has resulted in an environmental disruption. This problem will be getting worse if appropriate measures are not taken into action. Considering the situation, a new hollow brick has proposed for the better use of brick.

2. DESIGN CONCEPTIONS

The construction location of the building, Nanning is located in the tropic of Cancer a little to the south, about 200 km near the border of Vietnam. The solar heat on the southern and western walls is great in summer. As shown in Fig. 1, the winter is short and has only two months. On the other hand, the summer is long more than a half year as well as humid. Furthermore it lacks wind. In short, Nanning has the following climates: short winter, long and hot-humid summer, lack of wind.

From the climatic conditions of Nanning as described above, our building was designed to be:

- * well heat-insulated for preventing solar heat from entering the rooms as possible
- * passive and active ventilation for

falta viento. Resumidos, Nanning tiene los siguientes climas: invierno corto, verano largo y húmedo, falta de viento.

-De las condiciones climáticas de Nanning descritas anteriormente, nuestro edificio fue diseñado para tener:

- * aislamiento térmico para prevenir, en la medida de lo posible, que penetre a los cuartos el calor solar.
- * ventilación activa y pasiva para evacuar el calor del edificio
- * enfriamiento por medio del buen uso de los recursos ambientales de enfriamiento
- * construir de los materiales naturales en lo posible para enfriamiento latente y evaporación

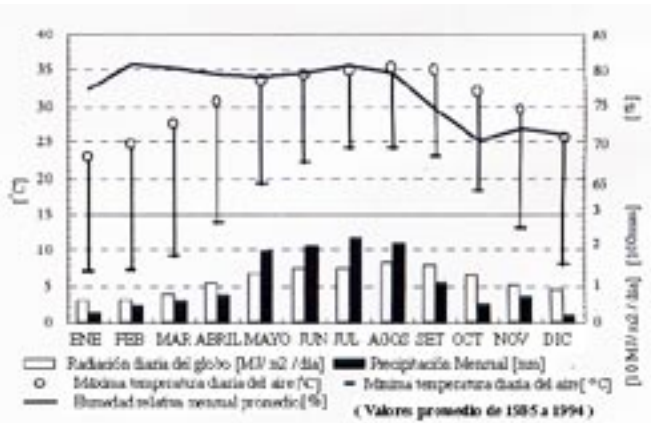


Fig.1 Datos meteorológicos anuales en Nanning

De acuerdo con los conceptos de diseño mencionados, las siguientes estrategias pasivas de enfriamiento fueron consideradas:

- * utilizar colector de aire caliente y ventilación de techo
- * construir paredes ventiladas por ladrillos
- * utilizar una chimenea de gases para la ventilación interna
- * utilizar enfriamiento nocturno y tubos de enfriamiento eficientes

La Fig.2 es una vista del edificio completado en Abril 1998. La primera planta del proyecto es mostrada en la Fig.3. El edificio consiste de dos casas. La del este es una vivienda de dos niveles con el cielo abierto y un área de piso estándar (el área del primer piso es de 60 m², el segundo piso 29 m²). El primer nivel está compuesto por

exhausting the heat out of the building

* cooled by making good use of the environmental cooling resources

* built of the natural materials as possible for latent and evaporation cooling

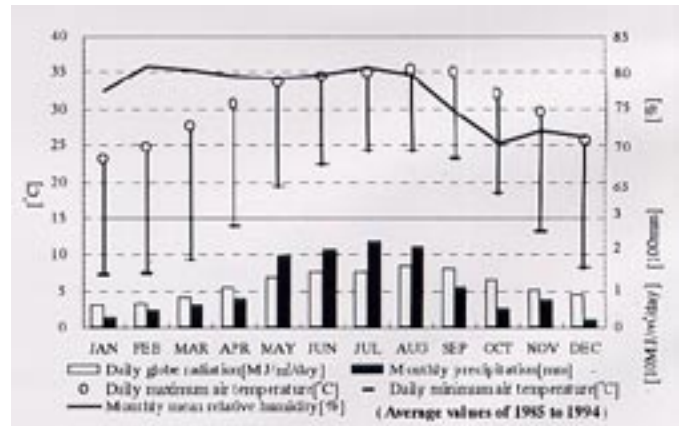


Fig.1 Annual meteorological data in Nanning

According to the above design concepts, the following passive cooling strategies were considered:

- * use air heat-collecting and ventilating roof
- * build ventilating walls by bricks
- * utilize an exhaust stack for indoor ventilation
- * use night cooling and cool tube efficiently

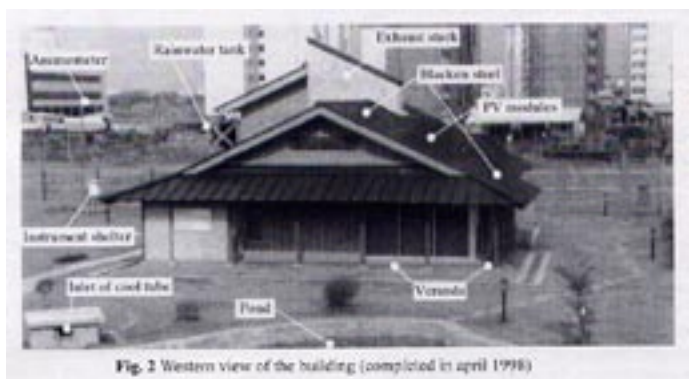


Fig. 2 Western view of the building (completed in April 1998)

Fig.2 is a view of the building completed in April 1998. The first floor plan of the building is shown in Fig.3. The building consists of two houses. The eastern one is a two-story dwelling with an open ceiling and a standard floor area (the first floor area is 60 m², the second floor 29 m²). The first floor comprises a kitchen, a dining room, a shower bathroom,



Fig.2 Western view of the building (completed in april 1998)

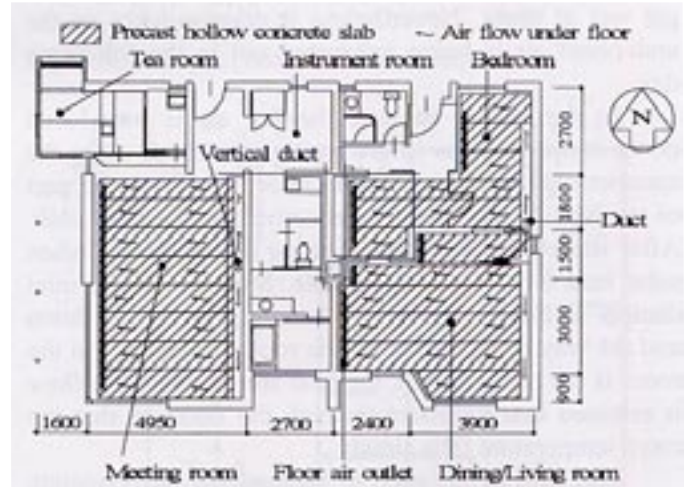


Fig.3 The first floor plan

and a bedroom and two bedrooms are in the second floor. The western house is one-storied and has a large meeting room, a traditional Japanese tea ceremony room, a bathroom with bath unit, an instrument room for the data-recorders and other equipment.



Fig.3 Primera planta

una cocina, un comedor, un baño con ducha, un dormitorio y dos dormitorios en el segundo nivel. La vivienda del oeste es de un nivel y contiene un gran salón de conferencias, un salón tradicional Japonés para té ceremonial, un baño con tina, un salón instrumental para las grabadoras de datos y otros equipos.

3.EL SISTEMA SOLAR

Un sistema solar múltiple [1] fue utilizado en el edificio. La superficie de la cubierta sur es un colector solar y con un acabado de tejas sintéticas de acero inoxidable ennegrecido. La parte superior del colector del techo está cubierta con una lámina de vidrio debajo de la cual hay una capa de aire muerto.

Como lo ilustra la Fig.4, el aire externo es succionado desde aberturas en los aleros para que fluya hacia la cámara de aire en el techo y a través del espacio debajo del techo, por medio de un abanico instalado en la caja de

3. THE SOLAR SYSTEM

A multiple solar system [1] was used in the building. The surface of the south-facing roof is a solar collector and finished with blacken stainless steel shingles. The upper part of the roof collector is covered with a sheet of glass under which there is a layer of dead air. As illustrated in Fig.4, the outside air from inlets in the edge of eaves is drawn to flow up to the roof air chamber through the space under the roof surface by a fan installed in the air handling box. As passing in the under-roof layer of air, the air from outside is heated by the back of the shingles which becomes hot by absorbing solar heat, and the nearer to the top of roof, the higher the temperature of the air rises.

The airflow passing through the roof air chamber can follow two different ways, controlled by the dampers, depending on the adjusting mode of the system controller. In the summer daytime, the hot air in the roof air chamber is exhausted outside through the exhaust duct connected with an exhaust stack.

manejo de aire. Conforme pasa por la capa de aire debajo del techo, el aire exterior es calentado por la parte de atrás de las tejas que se calientan al absorber calor solar y entre más cerca a la parte de arriba del techo, más alta la temperatura del aire.

El flujo de aire que pasa por la cámara de aire en el techo puede tomar dos caminos distintos, controlado por los moderadores y dependiendo del modo de ajuste del controlador del sistema. En el día durante el verano, el aire caliente que se almacena en la cámara de aire del techo es expulsado hacia afuera a través del ducto de escape conectado a la chimenea de escape. Por ende, el calor del techo hacia el salón puede ser reducido. Debajo de la capa de aire bajo el techo hay una capa de aislamiento bajo la cual hay una capa de aire para la ventilación natural. Bajo la superficie de la cubierta norte también hay una capa de ventilación natural.

El aire puede atravesar de norte a sur y el pasaje de aire recorre hasta la chimenea de escape de cuya base se conectan las aberturas de ventilación para cada habitación.

El aire caliente expulsado calienta la parte alta de la chimenea de escape y crea una corriente de aire ascendente, con la cual, el aire de los espacios internos es succionado hacia la chimenea de escape a través de las aberturas de ventilación. Este método permite que la habitación sea ventilada incluso en una localidad sin viento.

Si el cielo está despejado en la noche durante el verano, la temperatura de la superficie del techo metálico se mantiene debajo de la temperatura del aire exterior, debido al efecto de radiación nocturna de enfriamiento. El aire exterior es enfriado por la parte de atrás de la lámina metálica mientras penetra en la capa de aire bajo el techo. Se formará rocío porque la temperatura de la superficie del techo es más baja que la temperatura del ambiente y porque el aire es húmedo en la noche. El aire más seco y frío es guiado hacia abajo al espacio de aire bajo el piso, a través del ducto de aire vertical, al abrir el moderador de salida hacia el ducto de aire vertical. Debajo del piso hay una serie

Therefore the heat from the roof into the room can be reduced. Below the under-roof air layer is an insulating layer under which there is a layer of air for natural ventilation. Under the northern roof surface there is a ventilating layer too. The air can pass through from north to south and the air passage runs to the exhaust stack whose lower part connects with the ventilation openings in each room. The hot exhaust air heats the upper part of the exhaust stack and creates a rising a current, with which the air in the room is drawn into the exhaust stack through the ventilation openings. This method enables the room to be ventilated even in the locality without wind.

If the sky is clear at night in summer, the surface temperature of the metal roof goes below the temperature of outdoor air because of the night radiation cooling effect. The air from outside is cooled by the back of metal sheet as passing in the under-roof air layer. Dew will be formed because the temperature of the roof surface is lower than the ambient air temperature and the air is humid at night. The cooler and drier air is guided down to the air space under the floor through the vertical air duct by opening the outlet damper up to the vertical air duct. Under the floor is an array of precast hollow concrete slabs within which the air space becomes passages of the cool air. At the end, the air flows up into the room from outlets near the wall (se airflow in Fig.3). As passing under the floor, the air cools the floor slab. In the morning, the outlet damper automatically opens to the exhaust duck when the air temperature in the roof chamber is higher than the room temperature. During the day, the floor is kept cool and a radiant cooling effect can be created in the room. The effect of dehumidification may be higher than that of temperature decrease because of the latent heat being released. Due to condensation, the under-roof space may get wet at night. Nevertheless it dries quickly as the under-roof air is being exhausted out in the following day.

In the winter daytime the hot air is introduced down into the rooms following the same way as in the summer nighttime. As passing under the floor, the part of the heat in

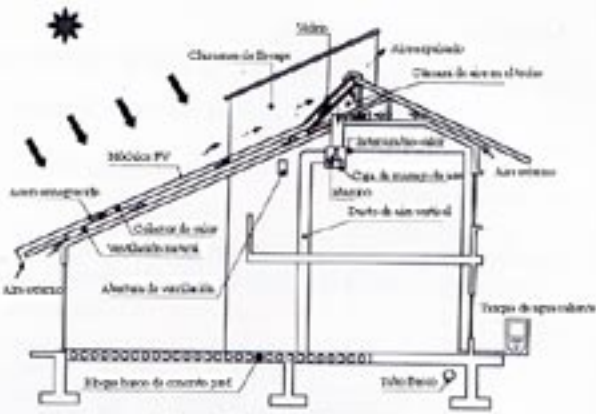


Fig. 4 Flujo de aire en el día en verano

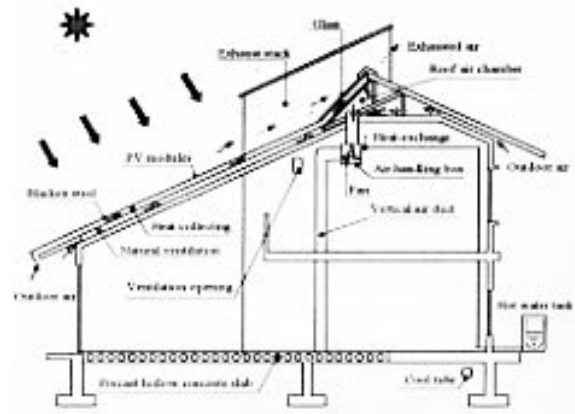


Fig. 4 The airflow in the summer daytime

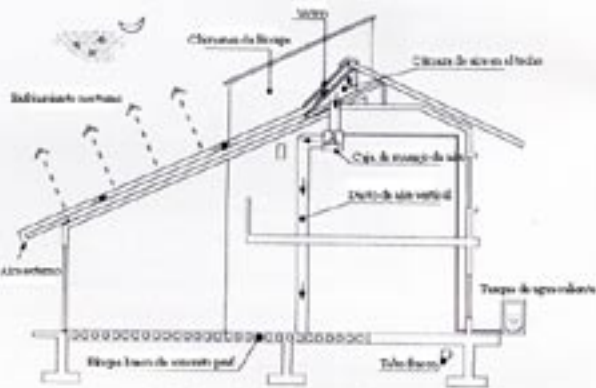


Fig. 5 Flujo de aire en la noche en verano

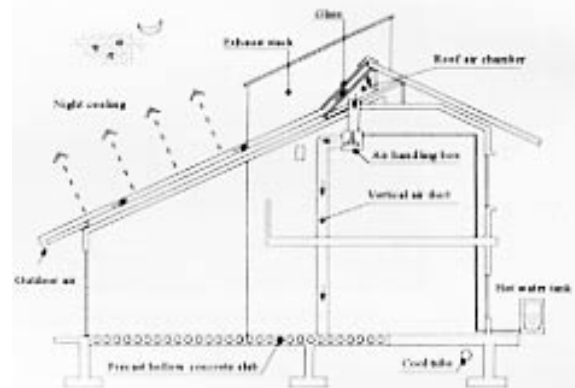


Fig. 5 The airflow in the summer nighttime

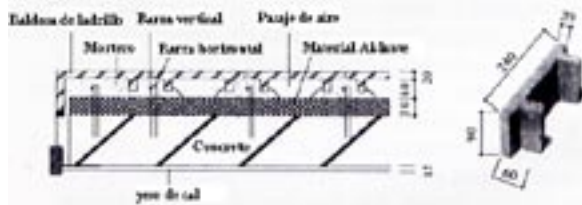


Fig 6 Pared ventilada y vista del ladrillo

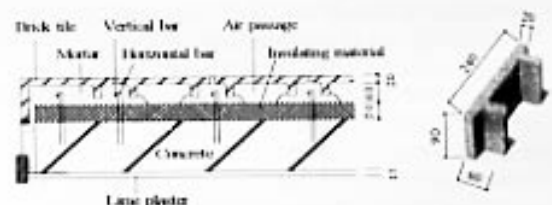


Fig 6 Ventilating wall and view of brick

de bloques huecos de concreto prefabricado entre los cuales el espacio de aire se convierte en pasaje para el aire fresco. Al final, el aire fluye hacia arriba dentro de la habitación desde salidas ubicadas cerca de la pared (ver flujo de aire en Fig.3). Mientras pasa bajo el piso, el aire enfría el bloque del piso. En la mañana, el moderador de salida se abre automáticamente hacia el ducto de escape cuando la temperatura del aire dentro de la cámara del techo es más alta que la de la habitación. Durante el día, el piso se mantiene fresco y un efecto de enfriamiento por radiación puede ser creado dentro de la habitación. El efecto de deshumidificación puede ser más alto que el de disminución de temperatura debido al calor latente que es liberado. La condensación,

the hot air is absorbed by the floor slab. After sunset, the fan stops running automatically when solar heat is no longer available. Meanwhile, the inlet damper at the front of the air handling box shuts down and the way of airflow from the roof air chamber to the room is cut off. At night, the heat stored under the floor is released into the room through the floor, so that the room temperature falls slowly.

The wall is designed to be made of ferroconcrete with an insulating layer of polystyrene sandwiched between the concrete and an outer layer of brick tiles, as indicated in Fig.6. The brick tile has a “*冀*” shape as shown on the right of the figure and between its two transverse ridges is an air space to allow the

puede mojar el espacio bajo el techo durante la noche. Sin embargo, se seca rápidamente mientras el aire bajo el techo se expulsa en el siguiente día.

En el día durante el invierno, el aire caliente se introduce hacia abajo en las habitaciones siguiendo el mismo camino que durante la noche en el verano. Mientras pasa bajo el piso, la parte del calor en el aire caliente es absorbida por el bloque del piso. Después de la puesta del sol, el abanico deja de funcionar automáticamente cuando disminuye el calor. Mientras tanto, el moderador de entrada al frente de la caja de manejo de aire se apaga y la vía de flujo de aire desde la cámara de aire del techo hacia la habitación se cierra. En la noche, el calor almacenado bajo el piso se libera hacia la habitación a través del piso para que la temperatura de ésta baje lentamente.

La pared está diseñada de ferroconcreto con una capa aislante de poliestireno en medio del concreto y una capa externa de baldosas de ladrillo, como indicado en la Fig.6. La baldosa de ladrillo tiene una forma “ 龘 ” como se muestra a la derecha de la figura y en medio de sus dos bordes transversales hay un espacio de aire para el paso del mismo. Entradas de los pasajes de aire están en la fila inferior de ladrillos y salidas en la más superior. El aire en el pasaje sube y saca el calor transmitido a través del ladrillo desde afuera durante el día. Además un enfriamiento por evaporación puede ser esperado en las paredes exteriores. La razón para esto es porque los ladrillos están mojados debido al clima lluvioso y húmedo en Nanning y el calor solar brillando en la pared se utiliza para evaporar el agua en la baldosa de ladrillo.

Como resultado, se puede prevenir que una gran cantidad de calor penetre la pared.

Otro método de enfriamiento es utilizar el tubo fresco enterrado bajo el suelo del edificio. Su entrada esta diseñada cerca del lago en el jardín occidental y su salida está bajo el piso, cerca de la salida del ducto de aire vertical. La salida del tubo fresco tiene una tapa y puede ser cerrada durante el invierno.

passage of air. Inlets of the air passages are on the lowest row of brick and outlets on the uppermost row. The air in the passage rises up and brings out the heat transmitted through the brick from outside during the day. Besides, an evaporation cooling can be expected on the out walls. This reason is that the bricks are wet because of rainy and humid climate in Nanning, so that the part of solar heat shining on the wall is used to evaporate the water in the brick tile. As a result, a great deal of the heat can be prevented from entering the wall.

Another cooling method is to use the cool tube buried under the ground of the building. Its inlet is designed near the pond in the western garden and outlet is under the floor close to the outlet of the vertical air duct. The outlet of the cool tube has a lid and can be closed in winter.

In addition, the house uses an integrated hot-water system in which the hot air can be utilized to produce hot water before exhausted outside. An integrated PV roof system was also installed. In fact, the middle part of the roof is an array of PV modules which not only collects solar heat but also generates electricity.

4. RESULTS AND DISCUSSIONS

4.1 Ventilation Effect in the Wall

Fig.7 shows measurement results of temperature distribution in the western wall for three days. From the middle graphs for a clear day, it can be seen that the exterior surface temperature arrives at more than 50°C in the afternoon. At the same time, the air temperature within the air passage is about 5°C higher than the ambient air temperature. The air temperature of the outlet in the shade is 2-3 °C higher than that of the inlet. These results explain that the air in the air passage is rising and flowing out from the outlet. Moreover, the interior surface temperature varies within 1°C all day long. Therefore, it can be concluded that the proposed ventilating wall has a good effect to exhaust the heat out of the wall.

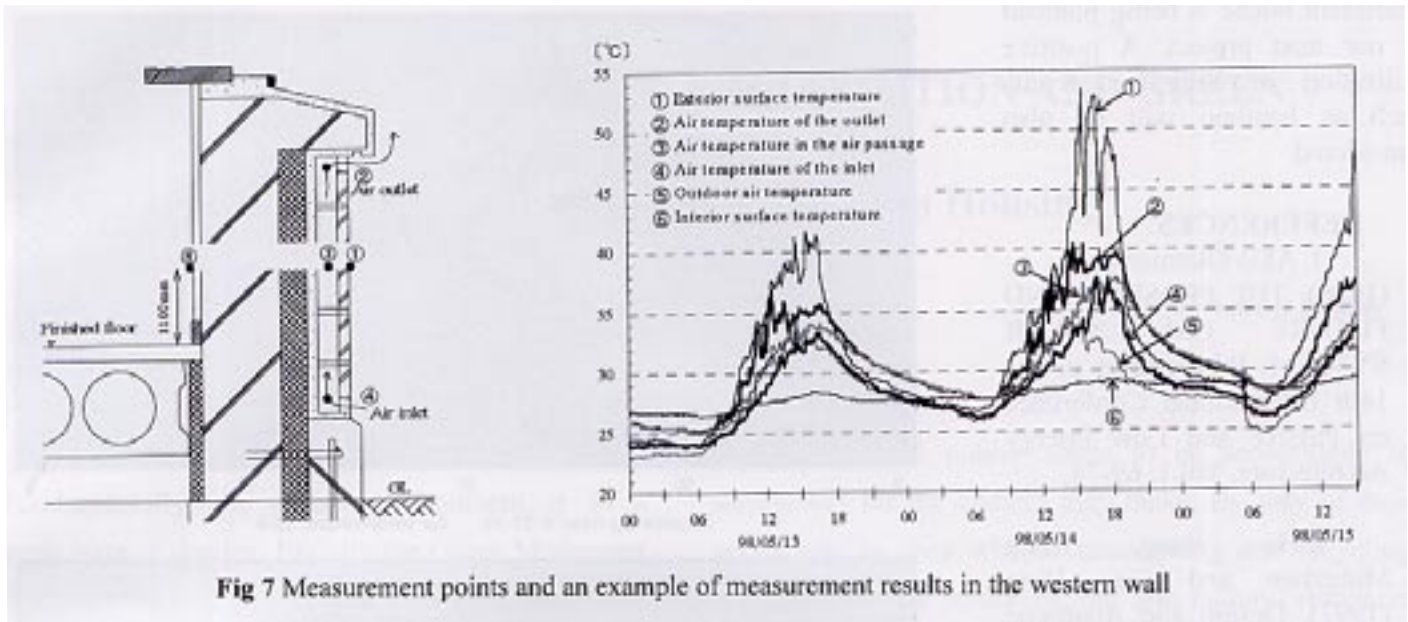


Fig 7 Measurement points and an example of measurement results in the western wall

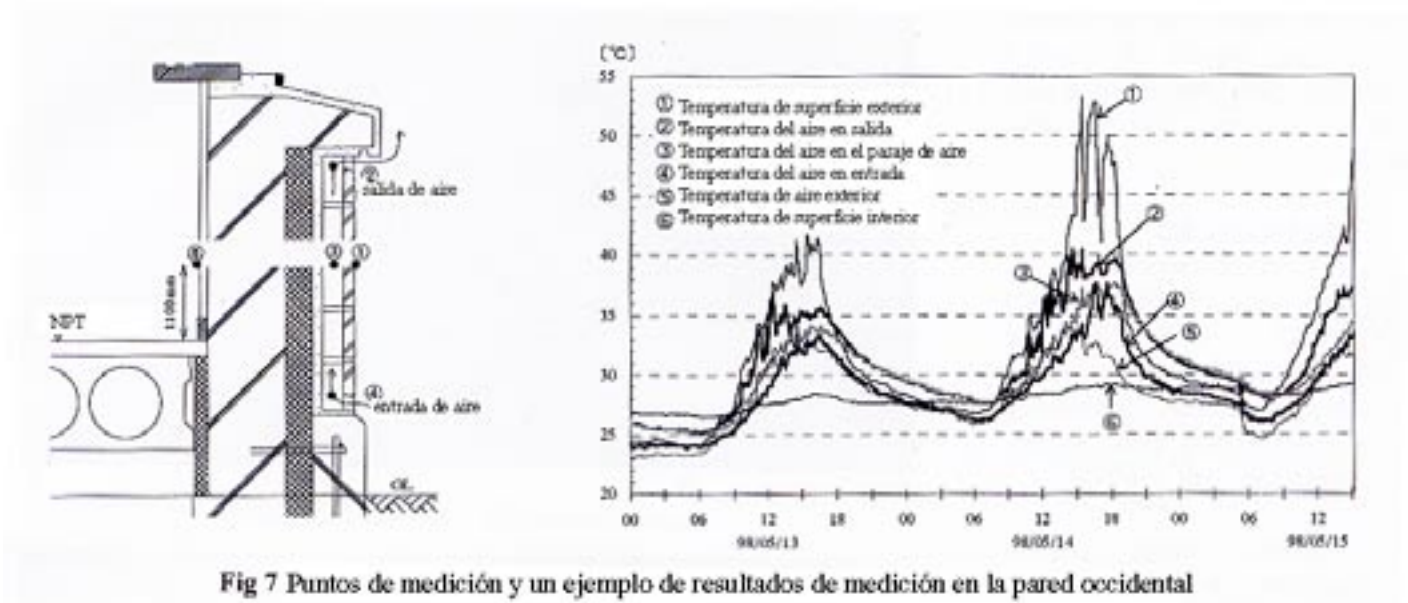


Fig 7 Puntos de medición y un ejemplo de resultados de medición en la pared occidental

Además, la casa utiliza un sistema de agua caliente integrado, en el cual, el aire caliente puede ser utilizado para producir agua caliente antes de ser expulsado al exterior. Un sistema de cubierta FV integrado también fue instalado. De hecho, la parte central de la cubierta es una serie de módulos FV que no sólo almacena energía solar, sino que también genera electricidad.

4.RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Efecto de Ventilación en la Pared

La Fig.7 indica medidas resultantes de distribución de temperatura en la pared

the door and windows were opened all day long. Although the room temperature of the first floor varies with the ambient air temperature, the former is slightly lower than the latter during the day. From the variation of the ceiling surface temperature it can be found that the roof is well-temperature it can be found that the roof is well-insulated. The cool air from the roof is drawn into the under-floor air space during the night. Because the floor slab is cooled at night, the surface is maintained to be about 3°C cooler than the room temperature during the day. This result shows that a radiant cooling effect can be created.

occidental durante tres días. En los gráficos medios para un día claro, se puede ver que la temperatura de superficie externa llega a más de 50°C en la tarde. Al mismo tiempo, la temperatura del aire dentro del pasaje de aire es aproximadamente 5°C más alta que la temperatura del ambiente. La temperatura del aire de la salida a la sombra es de 2-3°C más alta que la de la entrada. Estos resultados explican que el aire en el pasaje de aire esta subiendo y fluyendo hacia afuera desde la salida. Además, la temperatura interior de superficie varia entre 1°C todo el día. Entonces, puede concluirse que la pared ventilada propuesta tiene un buen efecto al expulsar el calor de la pared.

4.2 Temperatura Interna

La Fig.8 indica los datos recopilados en la casa este para dos días típicos despejados de verano cuando la puerta y ventanas permanecieron abiertas todo el día. Aunque la temperatura interna en el primer piso varia según la temperatura de ambiente, la primera es ligeramente más baja que la segunda durante el día. De la variación de la temperatura de superficie del cielo raso se puede inferir que el techo está bien aislado. El aire fresco del techo es llevado hacia el espacio de aire bajo el piso durante la noche. Debido a que el bloque de piso es enfriado en la noche, la superficie se mantiene aproximadamente 3°C más fría que la temperatura interna durante el día. Este resultado indica que un efecto de enfriamiento por radiación puede ser creado.

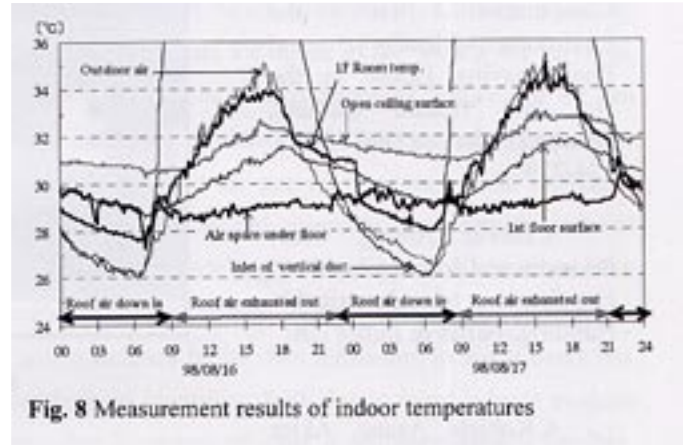


Fig. 8 Measurement results of indoor temperatures

4.2 Indoor Temperature

Fig.8 gives the data recorded in the eastern house for two typical summer clear days when

4.3 Internal Airflow

Directions and velocities of internal airflow near windows and doors were measured. An air velocity at each monitored position was measured cooling techniques, for instance, roof heat-exhausting, ventilating stack, openings planning, night cooling, under-floor energy storage, etc. In conclusion the presented environmentally friendly building can achieve a satisfactory thermal environment during the summer in the subtropical regions. An application to the mid-rise apartment house is being planned in our next project. A positive utilization of natural materials such as bamboo will be also considered.

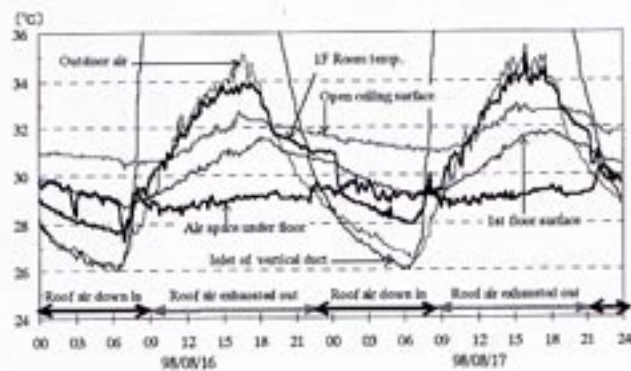


Fig. 8 Medidas resultantes de temperaturas internas

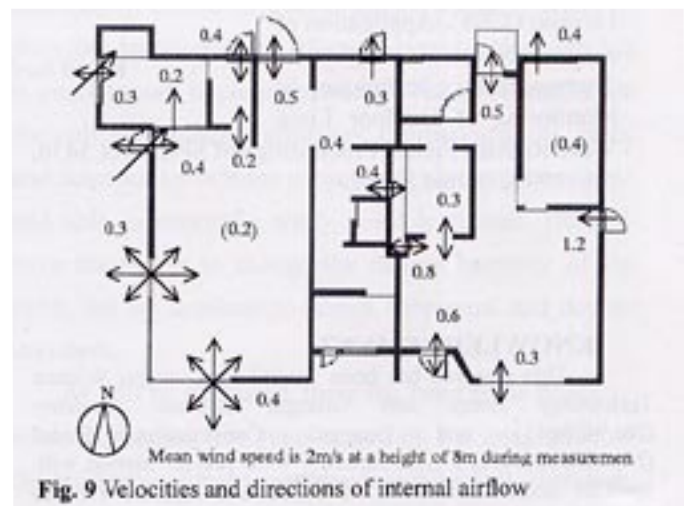


Fig. 9 Velocities and directions of internal airflow

4.3 Flujo de Aire Interno

Se midieron velocidades y direcciones de flujos de aire internos cerca de puertas y ventanas. Una velocidad del aire en cada posición monitoreada fue medida técnicas de enfriamiento, por ejemplo, expulsión del calor en el techo, chimenea de ventilación, planeamiento de aberturas, enfriamiento nocturno, almacenamiento de energía bajo el suelo, etc. En conclusión, el edificio amigable con el entorno presentado, puede lograr un ambiente térmico satisfactorio durante el verano en regiones subtropicales.

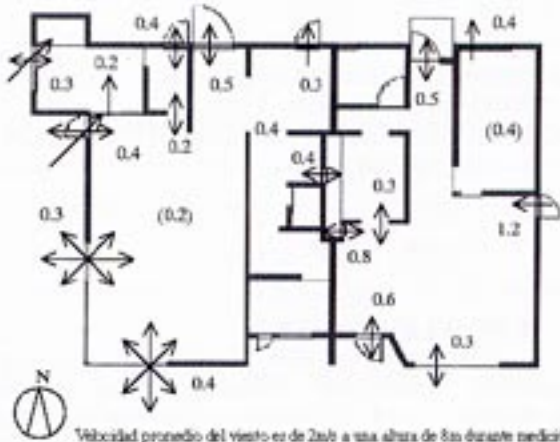


Fig. 9 Velocidades y direcciones del flujo de aire interno

Una aplicación al edificio de apartamentos de media altura está siendo planeada en nuestro siguiente proyecto. La utilización materiales naturales tales como el bambú también será considerado.

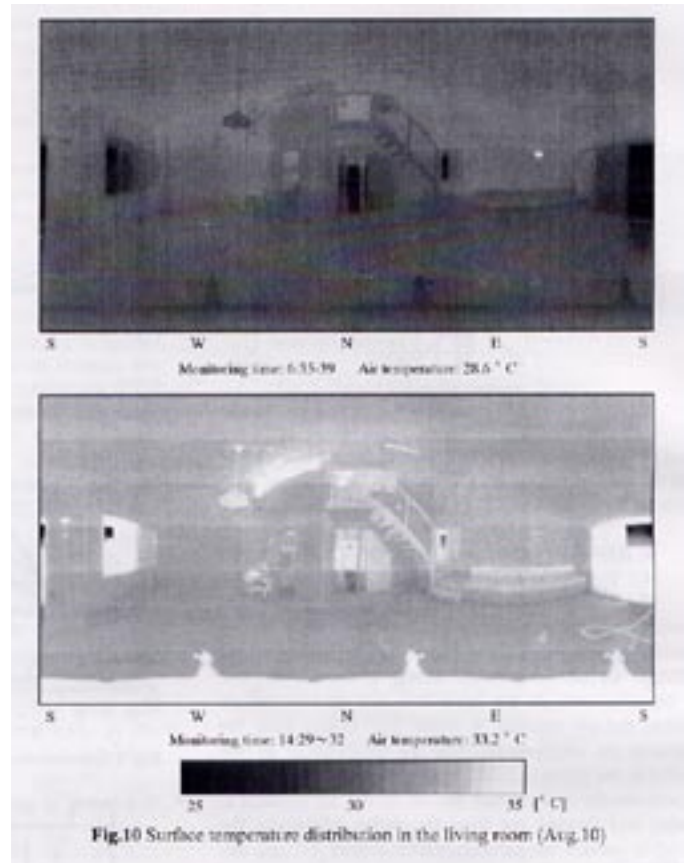


Fig.10 Surface temperature distribution in the living room (Avg.10)

REFERENCES

1. Akio Okumura
(1996), THE PRESENT AND
FUTURE OF SOLAR
SYSTEM, Proceedings of the
14th International Conference on Passive and
Low Energy
Architecture, Vol.1, 69-74.
2. He Jiang, Wang
Mingzhen and Guo Bing
(1997), Design and Analogue
Computation on the
Environment-friendly and
Energy-saving House in the
Hot and Humid Climate,
Guangxi Sciences, Vol.4, No.3,
224-229.
3. David Anink, Chiel
Boonstra and John Mak (1996),
Handbook of Sustainable
Building, James & James UK.
4. Kohichi Asano, Akira
Hoyano (1998), Application of a New Spherical
Thermography Technique to Monitoring of
Outdoor Long Wave Radiant Fields, Proceedings
of SPIE, Vol.3436, July 1998, United States.

Traducción libre de Arq. Ronald Valverde, para
el IAT.

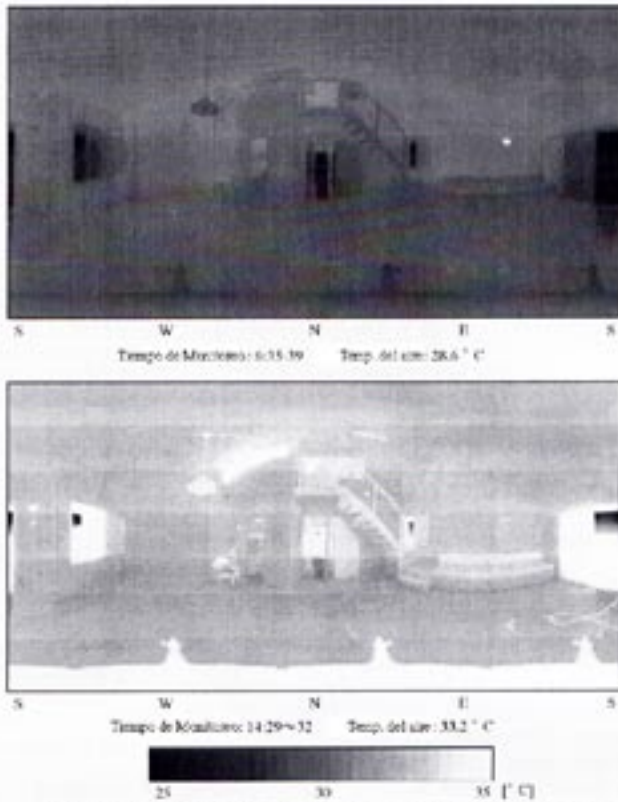


Fig.10 Distribución de la temperatura de superficie en la sala de estar (10 Agosto)