

## **UTILIZACIÓN DE UN RECINTO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LUJAN COMO MODELO EXPERIMENTAL Y DEMOSTRATIVO PARA LA APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE ACONDICIONAMIENTO NATURAL DE BAJO COSTO**

E. Yarke, M. Fujol, G. Hoffmann, J. Baez, J.P. Jimenez, R. Alvarez  
Laboratorio de Ingeniería Bioambiental - Universidad Nacional de Luján (UNLU)  
Cruce Rutas 5 y 7 – Luján – (6600) - Provincia de Buenos Aires - Argentina  
Tel. +54-2323-423979 o +54-2323-420380 - e-mail: eduardoyarke@arqsustentable.net

*Recibido 11/08/14, aceptado 24/09/14*

**RESUMEN:** Un pequeño recinto dentro de la Universidad Nacional de Luján es utilizado por el equipo de trabajo desde hace diez años como modelo experimental y demostrativo para la aplicación de técnicas de acondicionamiento ambiental de bajo costo y mínimo consumo energético. Con anterioridad al inicio de esta experiencia, el recinto era conocido por su pésima respuesta ambiental, sobre todo en el período cálido. Sobre el mismo fueron aplicadas con el tiempo sucesivas mejoras siguiendo una metodología que apuntaba tanto a lo experimental como a lo pedagógico y demostrativo, dada la similitud constructiva que el recinto mostraba con las viviendas precarias que autoconstruyen sectores de menores recursos. En el trabajo se muestran las sucesivas técnicas utilizadas, los resultados parciales medidos como consecuencia de las mismas, hasta llegar al momento actual en que se demuestra la muy satisfactoria respuesta alcanzada en relación con el confort ambiental interior para cualquier época del año.

**Palabras clave:** Recinto experimental y demostrativo, Aplicación de técnicas naturales para confort ambiental

### **INTRODUCCION**

Un recinto dentro de la Universidad Nacional de Luján, constituido por un único espacio cuadrado de 4,20m de lado y que se utilizaba como aula auxiliar o lugar de reunión para pocas personas, llamó la atención de este grupo de trabajo al tener noticias (año 2003) de su muy mala respuesta ambiental que lo hacía prácticamente inutilizable en ciertas épocas del año (fundamentalmente en períodos cálidos)

De la observación del sitio, surgió la propuesta de instalar allí el Laboratorio de Ingeniería Bioambiental y convertir al lugar en un recinto experimental (con objetivos de investigación, pedagógicos y demostrativos) ya que existían los siguientes elementos de interés: 1) La construcción precaria del mismo (muros de bloque de hormigón sin revoques, ventanas deformadas por el uso, cubierta de losetas premoldeadas sin aislación, etc.) se asemejaba a las también precarias viviendas autoconstruidas por sectores de escasos recursos (que tanto abundan en el Área Metropolitana de Buenos Aires) y en las cuales, suponíamos, existirían problemas termo-físicos similares a los que este recinto mostraba (esta suposición fue confirmada en trabajos de campo en años posteriores) 2) La posición del recinto, relativamente exenta con respecto a otros edificios de la Universidad, disminuía las interrelaciones térmicas entre los mismos, lo que permitiría aplicar mejoras con mayor libertad y 3) No había objetivamente límites temporales que impidieran pensar, estudiar, aplicar y evaluar cada mejora, pudiendo emplear todo el tiempo que se requiriera.

Fue así que en noviembre de 2003 se instaló el Laboratorio y se elaboró una metodología de análisis e investigación que contenía a su vez una intención pedagógica en relación con estudiantes y pasantes que se interesaron en el proyecto. Esta metodología consistía en los siguientes pasos:

- Observar
- Comparar
- Medir
- Imaginar una mejora
- Investigar acerca de dicha mejora
- Concretar la mejora
- Volver a medir
- Evaluar resultados
- y..... reiniciar el ciclo

La primera tarea consistió en realizar un diagnóstico de la respuesta ambiental del edificio (con mayor atención en el comportamiento del verano) y en enero de 2004 comenzaron las mediciones con ese objetivo (Yarke et al., 2006). Para esa época, el recinto presentaba el aspecto que se muestra en las Figuras 1 y 2 :



Figuras 1 y 2 – Fotografías del recinto del Laboratorio en su versión original

En las mediciones realizadas durante el mes de febrero de 2004 que se muestran en la Figura 3, se puede observar como en la mayoría de los días las temperaturas internas superaban a las externas (incluyendo a las máximas diarias) lo que evidenciaba la falta de una respuesta adecuada frente al clima y, por consiguiente, justificaba la sensación de discomfort que presentaba el recinto. Junto con las mediciones se hicieron otros tipos de análisis y evaluaciones sobre el edificio que completaban el diagnóstico preliminar. Para mayor información sobre los mismos, sugerimos consultar el trabajo arriba señalado.

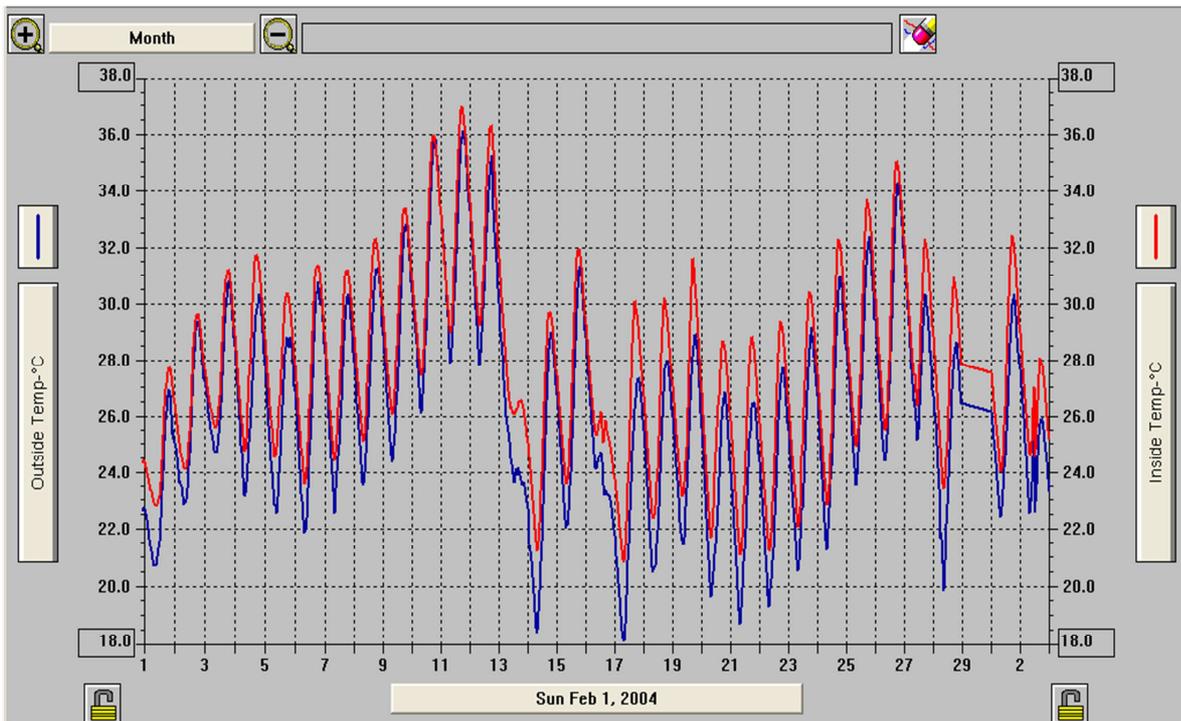


Figura 3 – Gráfico de temperaturas interiores y exteriores medidas en Febrero 2004

### UNA SERIE DE MEJORAS A SER REALIZADAS EN EL TIEMPO

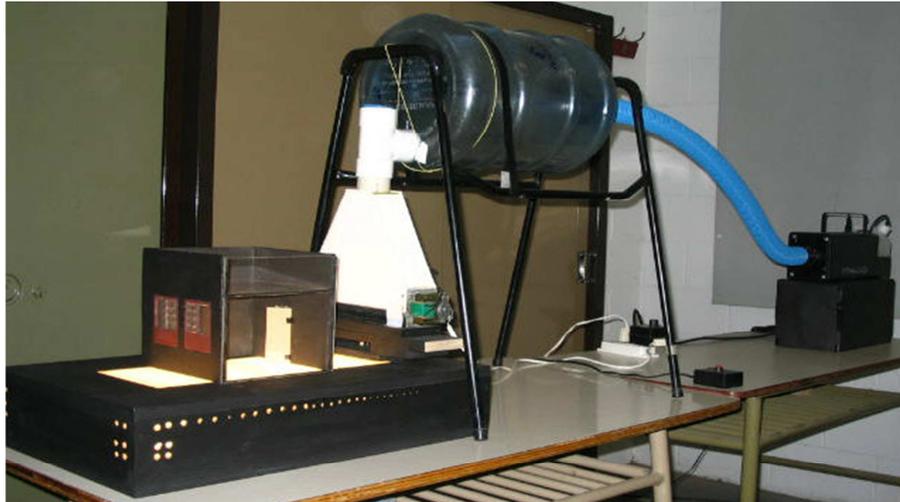
Con el objetivo final de conseguir que el recinto se convirtiera en un espacio que presentara condiciones internas aceptables de confort para todo el año, mediante la aplicación sucesiva de tecnologías de bajo costo que para su funcionamiento no requirieran consumir energías o, en su defecto, los consumos fueran mínimos, se elaboró un pre-programa tentativo de posibles mejoras a ejecutar en el tiempo. Cada mejora sería medida y evaluada en su eficacia en relación con el objetivo fijado hasta alcanzar finalmente el mismo. No había plazos pre-establecidos para estas tareas y se buscó y consiguió un amplio apoyo y participación de los estamentos de la Universidad para este propósito, así como las sucesivas financiaciones para las mejoras propuestas. Una decisión importante que se adoptó desde el inicio fue la de no aislar muros ni revocarlos. Esto tenía dos motivos: a) La gran mayoría de los edificios de la Universidad en ese entonces estaban autoconstruidos de igual modo y se nos requería mantener los mismos criterios constructivos 2) Las viviendas precarias autoconstruidas hacia las

cuales se pensaba dirigir las transferencia de las experiencias y sus resultados, nunca tienen aislaciones térmicas y los revoques aparecen tardíamente, lo cual está vinculado a una cuestión de costos, oportunidades y “maneras” culturales.

#### *Sistema de ventilación natural*

Dado que en principio el mayor problema se presentaba en las épocas cálidas, era lógico prever la concreción, en primer término, de un efectivo sistema de ventilación natural. Este sistema se pensó en base a dos elementos complementarios: el ingreso del aire por el aventanamiento ubicado en una de las caras y la extracción por la cara opuesta en base a la instalación de turbinas eólicas (también llamados aspiradores eólicos).

Como el grupo de trabajo tenía ya experiencia en temas de ventilación natural e incluso se había construido un equipo para hacer pruebas con humo y visualización de desplazamientos de los flujos convectivos sobre modelos a escala, se aprovechó esta circunstancia para hacer varias pruebas sobre un modelo a escala del recinto con diferentes tipologías de ventanas. Algunos estudios de esta etapa fueron presentados en ASADES 2004 (Yarke et al., 2004) – El equipo utilizado para estos ensayos se muestra en la Figura 4.

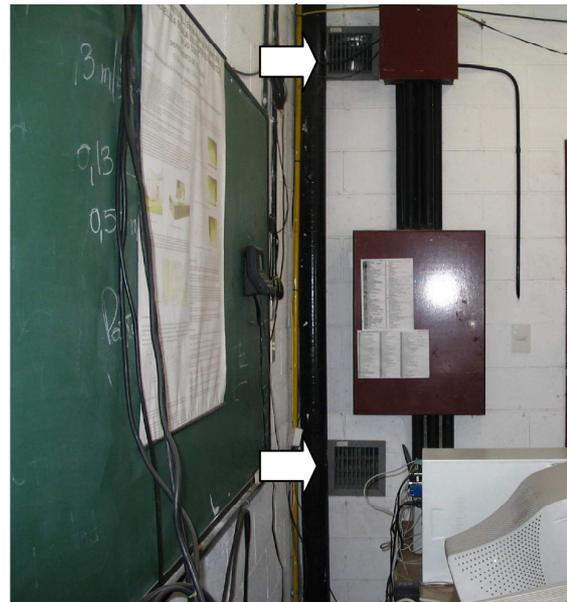


*Fig. 4 – El equipo armado para hacer pruebas con humo y el modelo a escala del recinto bajo estudio*

Mientras se definía el tema del aventanamiento, cronológicamente las turbinas eólicas estuvieron instaladas antes. Estas fueron colocadas al tope de dos conductos de chapa de 0,25m de diámetro, sobresaliendo por encima del techo del recinto. Del lado interior cada tubo estaba vinculado al espacio interno mediante dos rejillas regulables (ubicadas respectivamente en la parte baja y alta del local de manera de disminuir las estratificación térmica del aire en el interior del espacio) Ver Figuras 5 y 6.



*Fig. 5 – Turbinas eólicas al tope de tubos exteriores*



*Fig. 6 – Rejillas internas de vinculación con los tubos*

Junto con las turbinas eólicas se realizó también la aislación del techo con placas de poliestireno expandido de 0,04m de espesor (envueltas en polietileno) y aún cuando todavía no estaba resuelto el aventanamiento, se verificaron los efectos que tenían estas mejoras con las mediciones efectuadas. Así se pudo comprobar que para enero de 2006 no solo no se habían diferenciado las gráficas de las temperaturas internas de las externas, sino que por el contrario, se había incrementado levemente el aumento de la temperatura interna en relación con la exterior (ahora con un cierto desfase de tiempo). Este efecto no deseado era consecuencia de la aislación térmica de la cubierta que dificultaba el enfriamiento a través de la misma. (Yarke et al., 2006). La Figura 7 muestra los gráficos de temperatura externa e interna de enero de 2006

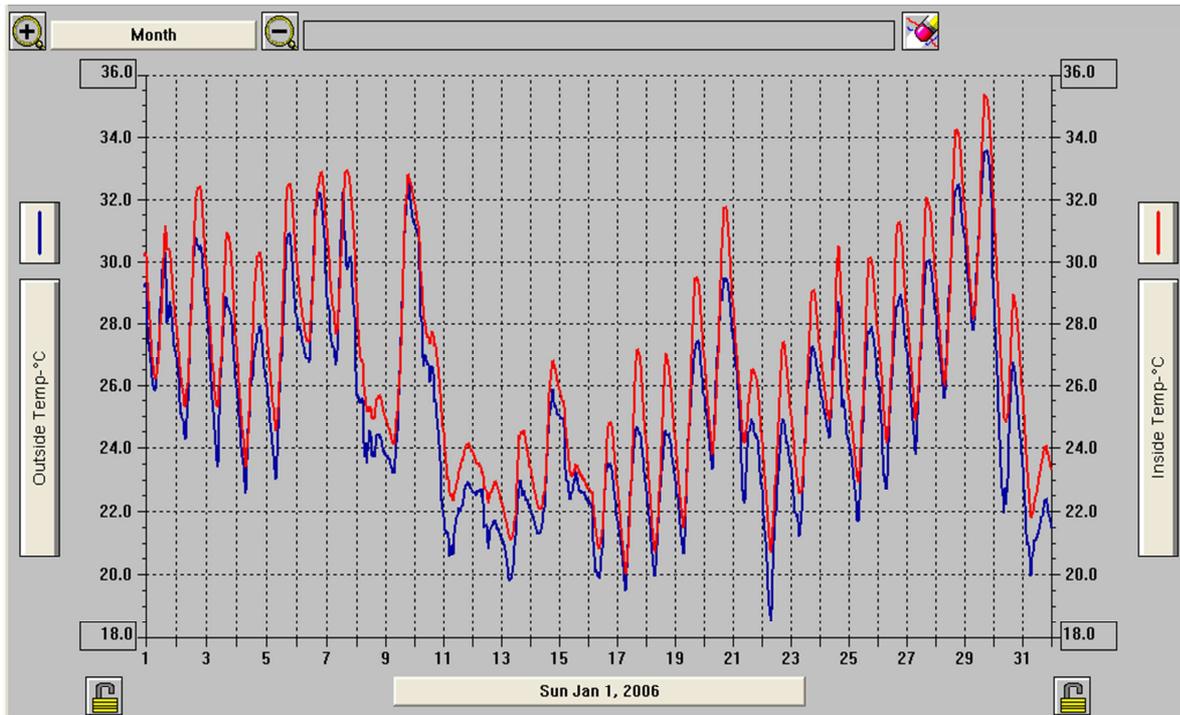


Fig. 7 - Gráfico de temperaturas interiores y exteriores medidas en Enero 2006

En agosto de 2006 quedó instalado el nuevo aventanamiento que fuera diseñado para el Laboratorio. Finalmente se había resuelto reemplazar las dos ventanas existentes por una sola de diseño especial. Esta ventana fue construida incorporando dos conductos laterales que reciben aire exterior y lo introducen al recinto por sendas salidas orientadas para barrer la superficie interna de los muros. Estos conductos laterales pueden cerrarse interiormente mediante “dumpers” similares a las tapas rebatibles de las cintas que, en una ventana estándar, mueven a las cortinas de enrollar. De los nueve paños que tiene la ventana, solo abren dos hacia fuera (tipo proyección).- Los vidrios son simples sin ningún tipo de protección. Figuras 8 y 9 .



Fig. 8 -Vista exterior ventana con conductos laterales



Fig. 9 - Vista interior con la salida de los conductos

Con la ventana ya instalada se completaba el conjunto y ello permitía medir y evaluar la efectividad del sistema de ventilación natural previsto. Utilizando anemómetros marca Testo – Mod 435/2 - con sonda de hilo caliente, se hicieron largas series de mediciones tanto en el interior de los conductos que alimentaban a las turbinas eólicas como en el interior de los conductos laterales de la ventana. Con estas mediciones se quería registrar la respuesta del sistema en relación con diferentes niveles en la velocidad del viento y de las temperaturas del aire, así como la influencia de las diferentes direcciones del viento y los efectos de turbulencias en el interior de los conductos. (Yarke et al., 2007). Se determinó, por ejemplo, que con una mínima diferencia de 0,5°C entre la temperatura de aire interior y exterior, las turbinas comenzaban a extraer aire aún sin viento o que los caudales extraídos aumentaban con la velocidad del viento pero no en forma proporcional o que importantes diferencias de temperaturas significaban mayores turbulencias en el interior de los conductos, aunque no necesariamente mayores caudales extraídos, etc. El promedio de caudal extraído del conjunto del sistema fue de 232 m<sup>3</sup>/h (con mínimos de 90 m<sup>3</sup>/h y máximos de 800 m<sup>3</sup>/h) que significaba un valor medio horario de 4,4 renovaciones/h del volumen interior del recinto. Este valor de caudal extraído era satisfactorio en cuanto a la ventilación natural, pero no influía en forma sensible sobre los valores medidos en las temperaturas internas, las que seguían performances similares a las medidas cuando aún no se había realizado ninguna mejora. Ver Figura 10:

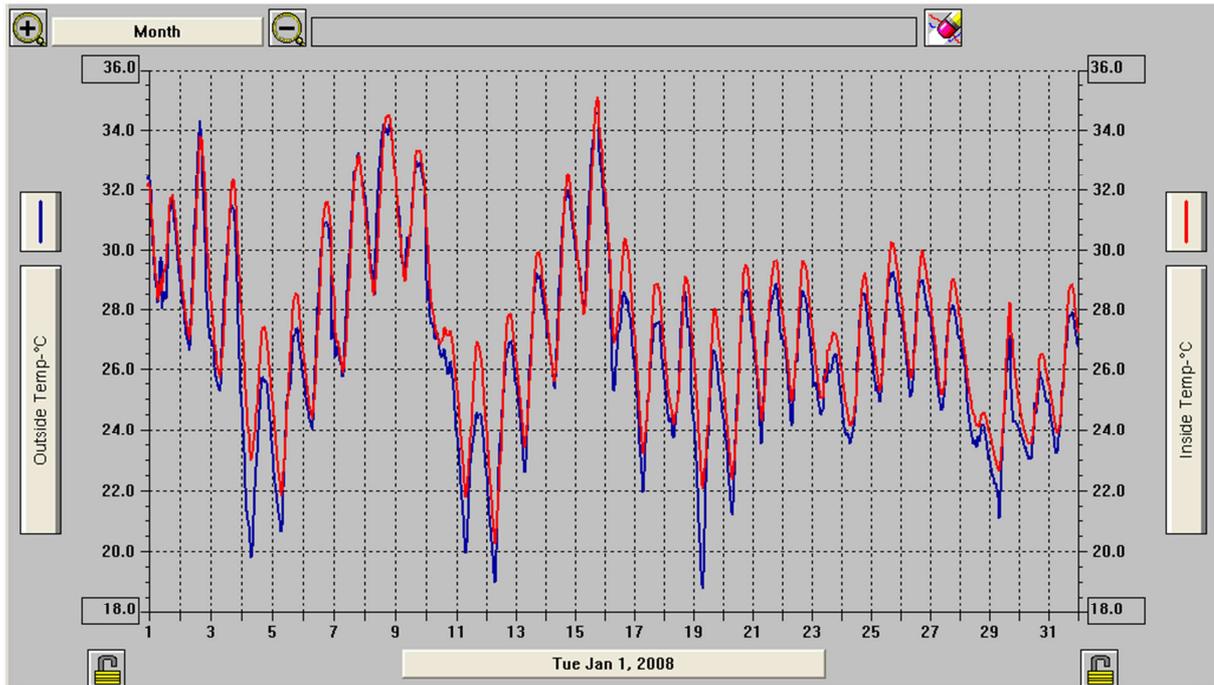


Fig. 10 – Gráfico de temperaturas exteriores e interiores medidas en enero de 2008

#### Enredaderas para cubrir la cara exterior de los muros

La ausencia de una respuesta sensible en cuanto a la diferenciación entre temperaturas internas y externas (a pesar del buen nivel de ventilación alcanzado) que se atribuía a la excesiva carga térmica por la radiación solar incidente sobre los muros – efecto que fue medido puntualmente - y por la ventana (donde la ventilación introducía el aire a la temperatura exterior), condujo a la segunda serie de mejoras consistentes en un toldo para sombrear la ventana y la colocación de enredaderas exteriores sobre los tres muros que reciben radiación solar directa.

Colocar enredaderas sobre los muros no fue tarea sencilla. El terreno alrededor del Laboratorio estaba sembrado con cascotes remanentes de sucesivos cambios en el mismo, la tierra en sí era de mala calidad, las plantas necesitaban riego frecuente, tarea pesada y tediosa, e incluso un mural en uno de los muros generaba un conflicto (luego solucionado) con una agrupación estudiantil que lo había pintado y se oponía a que fuera cubierto con la vegetación.

Prácticamente todo 2008 y 2009 fue el tiempo que demandó el plantado, cuidado y crecimiento de las enredaderas. Se utilizaron sucesivamente tres especies, primero la denominada popularmente “enamorada del muro” (ficus repens), luego la clásica “hiedra” (hedera hélix) y por último una especie de largas ramas y abundantes flores denominada “bignonia” (podranea ricasoliana) siempre en busca de un mas rápido cubrimiento del muro. En octubre 2009 la instalación de un sistema automático de riego por goteo revirtió el problema, ahora ya no se trataba de superar con esfuerzo el dificultoso crecimiento de las enredaderas, sino que éstas crecían velozmente y era difícil mantenerlas a raya - Figuras 11 y 12

En el verano 2009-2010 todo el sector en donde estaba localizado el Laboratorio entró en remodelación por decisión de la Universidad. Si bien el recinto en sí no fue modificado, se suspendieron todas las mediciones por falta de energía eléctrica. Al mismo tiempo se aprovechó la oportunidad para instalar los sensores externos en una jaula metálica un poco más alejados del Laboratorio y también más protegidos.



Fig. 11 – Enredaderas en marzo de 2008 Fig. 12 - El estado de las mismas en febrero de 2014

El marzo 2010 se reanudaron las mediciones y en abril del mismo año el efecto, con las enredaderas suficientemente crecidas, era el que muestra las Figura 13. Se notaba ya una diferenciación entre temperaturas externas e internas. Para esta época del año – mas fría – las temperaturas internas se mantenían dentro de un entorno más cercano a los límites de confort que las exteriores. Por fin la mejoras realizadas mostraban resultados positivos en las mediciones.

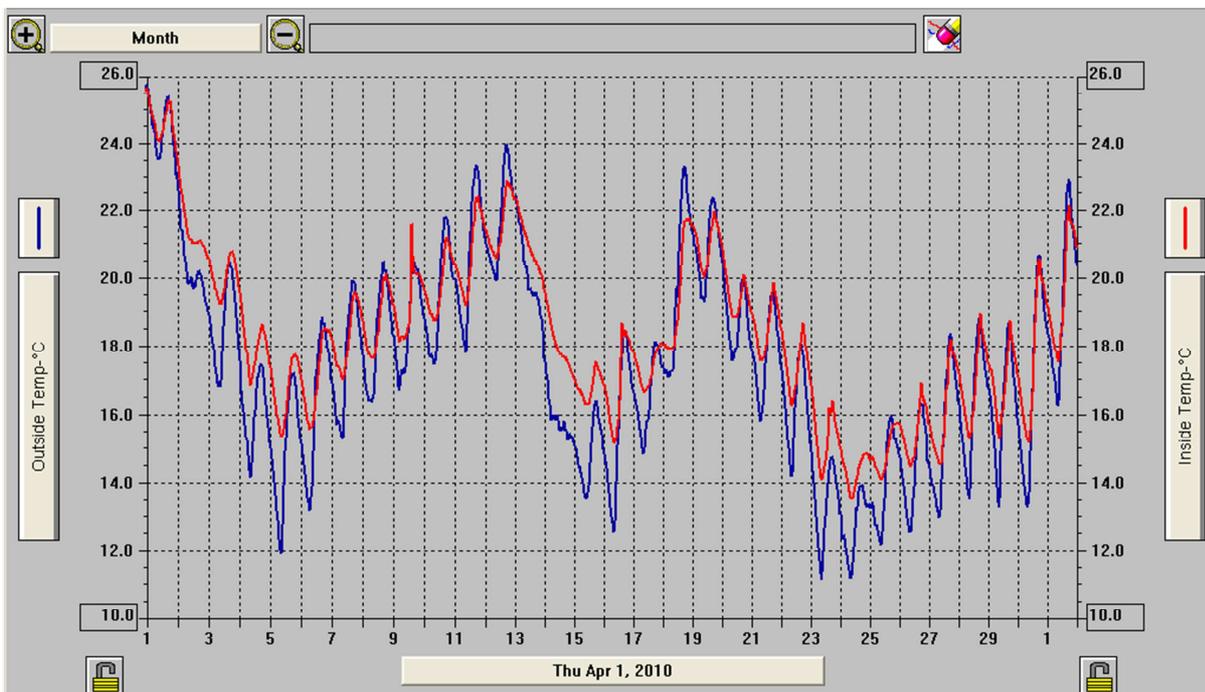


Fig. 13 – Gráfico de temperaturas interiores y exteriores abril de 2010

#### Incorporación de masa y automatización del funcionamiento de la ventana

La siguiente serie de mejoras se pensó para agregar masa moderadora y acumuladora en el espacio interior y automatizar el funcionamiento de la ventana, de manera de disminuir la ventilación natural en épocas más frías y aprovechar mejor la ventilación nocturna en el verano.

Agregar masa sin modificar los muros exteriores, requería de alguna solución no-convencional para alcanzar ese objetivo. Finalmente se decidió utilizar tambores de 200 litros c/u llenos con agua y cerrados en forma hermética. Primero se colocaron dos barriles hacia finales de 2010 y un año más tarde, de acuerdo a los resultados de las mediciones, se colocaron otros dos para mejorar la capacidad de acumulación

En cuanto a la automatización del funcionamiento de la ventana, requirió de un estudio y de una instalación más compleja y detallada. Para abrir y cerrar los “dumpers” del conducto lateral, se instalaron dos pequeños motoredutores marca Ignis (vinculados con cada eje de los “dumpers”) que funcionan con 14 voltios de tensión y corriente continua y para accionar las únicas dos hojas de la ventana que abren se instaló un brazo de empuje motorizado que funciona con 220 voltios, marca Aprimatic

El control de todo el sistema se logró con un PLC marca Carel con 4 entradas/salidas analógicas y 6 entradas/salidas digitales más los correspondientes relés, topes de fin de carrera, transformadores, etc. La programación realizada permite cerrar totalmente la ventana con menos de 10°C de temperatura interior. A partir de allí abre uno de los “dumpers” y el otro abre cuando la temperatura interna alcanza o supera los 18°C. El brazo de empuje abre cuando la temperatura interna alcanza o supera los 28°C siempre y cuando la externa esté igual o por debajo de 25°C. Esta última condición permite aprovechar mejor la ventilación nocturna en verano. En la Figura 14 pueden observarse algunos de los barriles con agua que aportan masa térmica al interior del recinto así también como el brazo de empuje que abre y cierra los paños móviles de la ventana. La Figura 15 muestra el PLC instalado así como algunos accesorios (rieles, relés, transformador, etc.) Hasta aquí el único consumo de energía convencional que existe es generado por el funcionamiento de los controles, o sea un consumo mínimo.

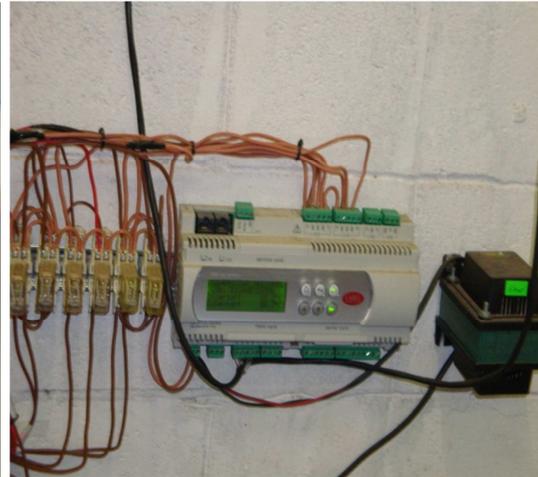


Fig. 14 – Vista del interior con los barriles con agua

Fig. 15 – El PLC instalado para control de la ventana

El notable cambio que la suma de las mejoras produce en las condiciones internas del Laboratorio se observa en el gráfico de temperaturas que muestra la figura 16 correspondiente al riguroso y fluctuante período entre el 07/01 y el 06/02 de 2014

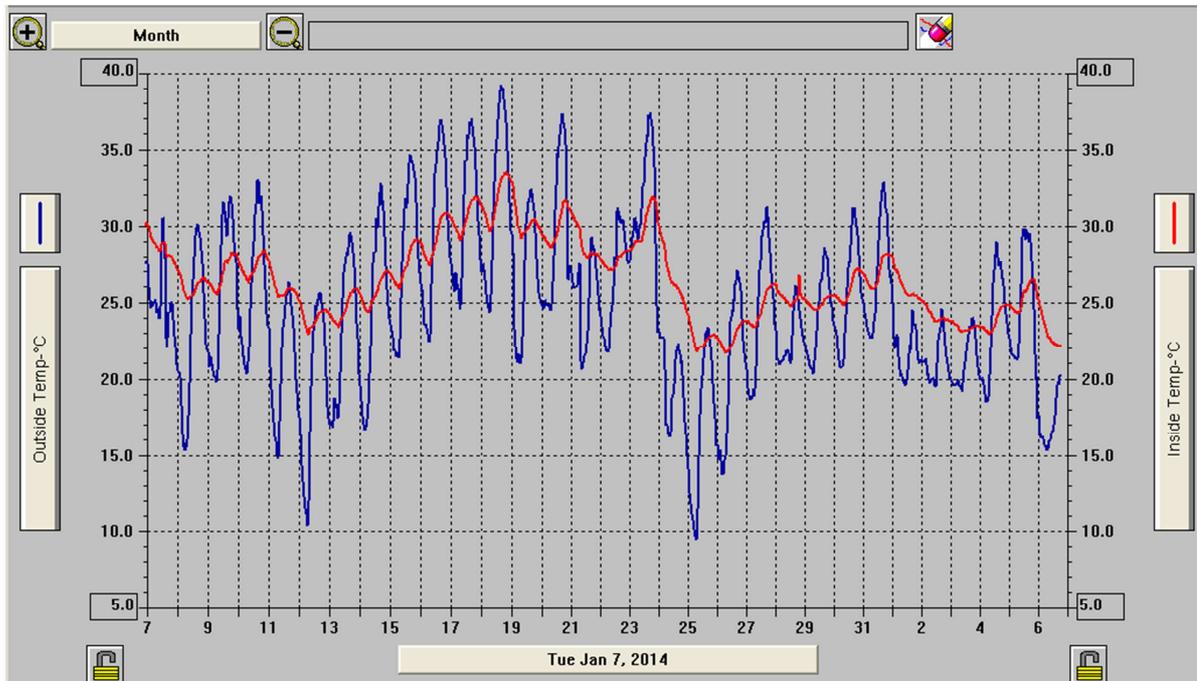


Fig. 16 – Gráfico de temperaturas externas e internas entre el 07/01 y el 06/02 de 2014

#### El calefaccionamiento en el período frío

Con las mejoras ya realizadas se da por resuelto el comportamiento adecuado del recinto bajo estudio en las épocas más cálidas del año. Faltaba resolver el cómo mejorar el comportamiento en las épocas frías. De las diferentes soluciones

analizadas finalmente se adoptó la incorporación de un quinto barril con agua que sería calentada y recirculada para evitar su estratificación. Como es imposible en este caso calentar el agua del barril con algún sistema solar se terminó adoptando la introducción de una vaina calefactora eléctrica (1,5Kw de potencia) del mismo tipo de las que se utilizan en los termotanques eléctricos, más los accesorios y controles para un funcionamiento automatizado. Este conjunto tiene un rendimiento muy alto y está conformado por elementos en parte reciclados y en conjunto totalmente reciclables. Se comenzaron las pruebas del calefactor en mayo de 2014, hasta ahora con resultados muy satisfactorios.

## CONCLUSIONES

La primera y fundamental conclusión que obtenemos de este proceso es que en el clima en donde está ubicada la Universidad – caracterizado como Zona III - Templado Cálido según Norma Iram 11603 - es posible el acondicionamiento natural de los edificios y obtener situaciones de confort ambiental aceptables, utilizando únicamente técnicas de bajo costo y con mínimo consumo de energías convencionales.

En este caso se partió de una construcción precaria, que por su similitud con viviendas construidas con similar precariedad, demuestra que es posible mejorar las condiciones de confort de tales viviendas con técnicas sencillas y de bajo costo, pero eficaces si están adecuadamente aplicadas. Para el caso de edificios construidos con mayor calidad, aumentan las posibilidades de obtener resultados satisfactorios.

Según la experiencia realizada, ninguna solución es válida a priori sin algún tipo de verificación que la avale ante casos concretos de aplicación. En nuestro caso, las simulaciones que se hicieron utilizando programas como el Energy Plus no dieron resultados coherentes con lo que indicaban las mediciones. Las causas de esto pueden ser varias y no entramos en profundidad buscando averiguarlas.

La utilización de ciertas técnicas no-convencionales (como la introducción de barriles con agua) encuentran resistencias culturales que requieran ser superadas (o no) apelando a otras disciplinas. En este caso, esta técnica fue fundamental para lograr los objetivos buscados. Si el edificio tiene suficiente masa en su forma constructiva, lógicamente que no serán necesarios, pero no olvidamos que cada vez se construye apelando a técnicas constructivas más livianas e insuficiente masa.

Desde el punto de vista pedagógico, experiencias de este tipo son sumamente útiles para despertar el interés de alumnos y pasantes. También ayudan a aquellos egresados que realizan posgrados al brindar una buena base de información para ciertos aspectos puntuales de sus estudios.

## PATENTAMIENTO

El diseño de la ventana fue patentado como Modelo de Utilidad bajo el registro AR063990B4-2009 (Yarke, 2008)

## AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a todos los estamentos de la Universidad Nacional de Luján que brindaron su apoyo en este proyecto, así también como a los alumnos, pasantes y ayudantes que formaron parte del equipo o colaboraron en el mismo, especialmente a Lisa Vitali y a Martín Seoane.

## REFERENCIAS

- Yarke E., Fujol M., Vitali L. y Seoane M. (2004): Ventilación Natural: Estimación de Parámetros Sobre Modelos a Escala Utilizando Equipamiento de Bajo Costo – Revista AVERMA – Volumen 8 – Tomo 2 – Sección 8 - Pag. 08-01 a 08-06
- Yarke E., Fujol M., Vitali L. y Jiménez J.P. (2006). Evaluación Energética de las Primeras Mejoras Constructivas Realizadas sobre un Laboratorio de la UNLU. – Revista AVERMA - Volumen 10 – Tomo 2 – Sección 8 – Pag 08-09 a 08-16
- Yarke E., Fujol M. y Jiménez J.P. (2007). Verificación Experimental de la Efectividad que Presentan los Aspiradores Eólicos para la Ventilación Natural: Anais do IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído (ENCAC 2007) – Pag. 2070 a 2077 – ANTAC – Cidade Ouro Preto –MG- Brazil.
- Yarke E. (2008): Dos Patentes de Modelo de Utilidad – Revista AVERMA – Volumen 12 – Tomo 2 – Sección 9 - Pag. 09-15 a 09-21

## ABSTRACT

For ten years, a research team has been using a small room at the National University of Lujan as an experimental demonstration model for the application of low-cost environmental conditioning energy-efficient techniques. Before starting this experience, the building was characterized for its poor environmental conditions, especially during the warm season. Over time, successive improvements were applied upon it following not only an experimental methodology but also educational and demonstrative ones, since this room had been made with similar building materials to the ones used in poor-quality housing of low-income self-builders. This paper shows the consecutive techniques applied and the measurement of the partial results obtained from the application of these techniques till the present time, which demonstrates a very satisfactory response related to the indoor environmental quality at any time of the year.

**Key Words:** Experimental demonstration model room, application of natural techniques to enhanc