

SIMULACION TERMICA DE UN EDIFICIO PARA PRODUCCION AGAMICA DE PLANTAS Y PROPUESTAS PARA REDUCIR EL CONSUMO ENERGETICO

García Víctor O. – victorgarcia958@gmail.com¹

Iriarte Adolfo – iriarteadolfo@gmail.com¹

Flores Larsen Silvana silvanafloreslarsen@gmail.com²

Ferrón Leandro - leaferron@hotmail.com³

Lesino Graciela – lesino@gmail.com²

¹GERCa. - INENCO – CONICET- Fac. de Ciencias Agrarias, UNCatamarca

²INENCO – CONICET – UNSalta

³Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda – INCIHUSA CCT CONICET

Resumen. Las nuevas tecnologías de acondicionamiento pasivo e híbrido integrados en edificios de uso agroindustrial permiten: mejorar las condiciones lumínicas y térmicas, disminuir el uso de recursos energéticos, el impacto ambiental y la dependencia de instalaciones de acondicionamiento artificial. El objetivo del trabajo, es conocer el comportamiento de un edificio para la multiplicación de plantas, de gran importancia para el desarrollo económico de la región, con el propósito de adecuar su diseño con estrategias bioclimáticas y proponer sistemas de iluminación para ahorro de energía. Se realizaron mediciones de temperaturas, iluminación y humedades externas e internas en diferentes sectores del edificio con datalogger automáticos, durante un año. Se realizan propuestas para reducir el consumo de electricidad incorporando sistemas de iluminación natural en laboratorios de propagación. Se muestran los resultados del monitoreo durante el mes de enero del año 2009, y la simulación térmica del edificio en sus condiciones iniciales y algunas modificaciones realizadas utilizando el programa SIMEDIF para Windows. Los resultados del periodo medido y simulado de la edificación, han demostrado la dependencia de las variables climáticas exteriores y aspectos constructivos de la vivienda, que influyen en el ahorro energético.

Palabras clave: Simulación Térmica, Propagación Agámica, Consumo Energético

1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, en la provincia de Catamarca, han surgido situaciones que indican el aumento de la problemática del abastecimiento energético, tanto en el sector eléctrico como de gas, con interrupciones en el suministro especialmente en la época estival.

Ante esta situación se requiere de urgentes medidas para reducir la demanda de energía en edificios y evitar los impactos ambientales perjudiciales. Esto implica la búsqueda de estrategias bioclimáticas que permitan lograr este objetivo y asegurar una adecuada calidad de vida con menor dependencia energética.

La posibilidad del uso de nuevas tecnologías de acondicionamiento pasivo e híbrido integrados en edificios de uso agroindustrial permiten: mejorar las condiciones lumínicas y térmicas, disminuir el uso de recursos energéticos, el impacto ambiental y la dependencia de instalaciones de acondicionamiento artificial. En la provincia de Catamarca, Argentina (28° 40' latitud sur y 65° 45' longitud oeste), se incorpora estos conceptos a un local de propagación agámica de 114 m² adaptado para la multiplicación de plantas de alta calidad, de gran importancia para el desarrollo económico de la región.

Entre las estrategias bioclimáticas más importantes en un edificio, a tener en cuenta, se puede mencionar:

- Forma edilicia apropiadas para conservar energía en invierno, captar radiación solar en épocas frías, aprovechar la iluminación natural.
- Evaluación de las características térmicas de paredes y techos para reducir el ingreso de calor estival y controlar pérdidas en época invernal.

Para realizar el presente trabajo se tuvieron como premisa

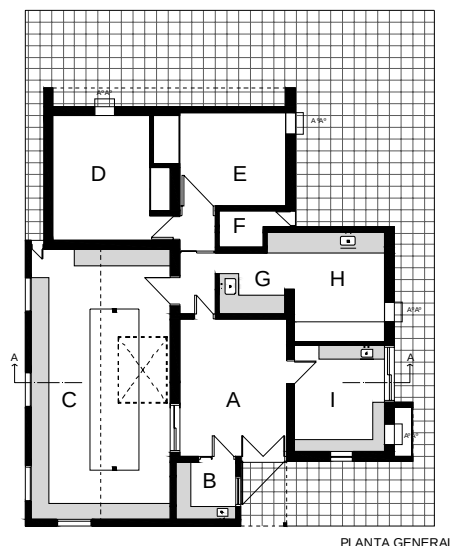
- Evaluar del Centro de Propagación Agámica existente en el INTA - Catamarca, realizando un monitoreo higrotérmico, y la simulación numérica de la construcción en periodo estival.
- Proponer sistemas de iluminación natural en la sala de dosificación de medios de cultivos.

En este trabajo financiado a través del proyecto PICTO 32140 de la Agencia de Ciencia y Técnica de la Nación, UNCa – INTA y la Subsecretaría de Ciencia y Tecnología del Gobierno de la Provincia de Catamarca, se muestran en conjunto las mediciones del monitoreo higrotérmico y la simulación con SIMEDIF para Windows, comportamiento lumínico de un sector del edificio utilizado para la dosificación de medios de cultivos, la incorporación de los nuevos sistemas de iluminación natural, cenital y estantes de control y redirección de la luz en ventanas, para evaluar los niveles de iluminación en las zonas de trabajo.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1 Breve descripción del edificio

El centro experimental utilizado para producir plantas micropropagadas agamicamente por técnicas invitro, se encuentra en el sector noroeste del predio de la Estación Experimental INTA Catamarca posee un área de 114 m² y un volumen de 309 m³. Consta de 9 espacios que se agrupan según su uso en dos áreas: el **área de recepción**, que consta de un hall de entrada, un baño y una oficina de recepción en la zona central, en la que se concentra la mayor actividad de las personas que trabajan en el laboratorio (de lunes a viernes de 9 a 13 hs), y el **área de micropropagación**, constituida por una sala de lavado de frascos y dosificación de medios de cultivos (C), un local para la práctica in-vitro llamada cámara de cría (D), una cámara de siembra (E), una sala de preparación de medios de cultivo, de almacenamiento de drogas e instrumental (H y G), un laboratorio de análisis inmunológicos (B) y un laboratorio de biología molecular (I) (García et al 2008). Las Figs. 1 y 2, muestran la planta general y un corte del edificio.



Referencias

- A - Oficina de Recepción.
- B - Laboratorio de Microbiología.
- C - Sala de Lavado Frascos y Dosificación de Medio de Cultivo.
- D - Cámara de Cría.
- E - Cámara de Siembra.
- F - Baño.
- G - Droguero.
- H - Sala de Preparación de Medio de Cultivo.
- I - Laboratorio de Biología Molecular.

Figura 1- Planta general del centro experimental.

El edificio se construyó por etapas, la estructura inicial de 100 m² fue realizada con ladrillos de 0.13 m de espesor revocados y pintados, la envolvente de la nueva construcción se completó con bloques de cemento de 0.15 m. Las fundaciones del edificio poseen cimientos corridos con zapatas de hormigón, con una profundidad de 0.60 m. El techo fue construido con losa cerámicas de 0.10 m de espesor está revestida con una membrana de 3 mm de espesor. La carpintería es de aluminio estándar. En una segunda etapa, se construyó dos locales, uno hacia el norte, la Sala de Lavado Frascos y Dosificación de Medio de Cultivo, con una superficie de 10.15 m², es el sector que posee mayor iluminación, tiene tres ventanas vidriadas sin celosía ubicadas en la pared norte, y otra en la pared oeste, una puerta de emergencia, y un ventiluz de 3.75 m² en el techo. El segundo local agregado, es el laboratorio de Microbiología, utilizado para realizar análisis inmunológico, está ubicado en el sector oeste del edificio, de 3.80 m², no posee revoque exterior.

Las mediciones de comprobación experimental fueron registradas cada 15 minutos. Los aparatos de medición utilizados son HOB0 U12 Temp/HR con rangos de medición entre -20 y 70 °C y 5 % y 95 % de temperatura y humedad relativa respectivamente. En total se ubicaron 7 sensores en interior de la casa: en la oficina de recepción, en los laboratorios de biología molecular y de análisis inmunológicos, en la sala de preparación de medios de cultivo, en las cámaras de siembra y de cría, y en la sala de lavados de frascos.

Los datos del ambiente exterior se los obtienen de una estación meteorológica ubicada a 50 m del edificio con un sistema de adquisición de datos tipo HOB0, con lecturas de temperatura, humedad, radiación y velocidad de viento programado para registrar los datos cada 15 minutos.

La medición de la iluminación en la sala de lavado se realizó con un medidor LICOR, se lo colocó equidistantes en distintos lugares sobre las zonas de trabajo de las mesadas, que están ubicadas junto a la pared norte y en el centro del local, Fig. 2. Estas mediciones fueron realizadas durante las horas en que se desarrollan las actividades en el laboratorio.

A partir de la simulación realizada para el mes de enero de año 2009 en las condiciones originales del edificio, y al monitoreo efectuado durante ese mes, se decidió simular los locales con las modificaciones realizadas en la cubierta del techo, al que se le colocó placas de poliestireno expandido 0.05 m de espesor, protegido con una capa de protección de mortero liviano, Fig. 3, a continuación se puso ladrillos macizos tipo bovedilla de 0.025 m de espesor.



Figura 2- Ubicación del medidor de iluminación en mesada central



Figura 3- Construcción techo con aislación

2.2 Descripción de la sala de dosificación de medios de cultivos

La sala de dosificación y medios de cultivo, en la que también se realizan los lavados y esterilización de frascos para ser utilizados en la propagación agámica, se encuentra en el área de micropropagación.

Este sector es el que posee la mayor iluminación, tiene tres ventanas unilaterales vidriadas sin celosía ubicadas en la fachada norte, Fig. 4, otra hacia el oeste y una puerta de emergencia, además en el techo se ha construido un ventiluz de 3.75 m², que aporta un ingreso de luz adicional al local, Fig. 5.



Figura 4- Ventanas fachada Norte



Figura 5- Foto del lucernario

Estas aberturas (unilateral y cenital), carecen de elementos de control de la iluminación directa, permitiendo el acceso de radiación solar directa en distintas estaciones del año y horas del día. Esto genera riesgo de deslumbramiento, tanto fisiológico como psicológico, para los usuarios que deben desempeñar sus tareas visuales diurnas en las mesadas ubicadas unas contiguas a las ventanas laterales y otras bajo el lucernario. También está presente el discomfort térmico asociado a la radiación directa sin control estacional.

3. RESULTADOS EXPERIMENTALES Y SIMULADOS

El periodo seleccionado para la contrastación térmica del edificio en su construcción inicial y la modificación de techo es el comprendido entre el 9 y el 17 de enero de 2009. En la Tab. 1, se muestran los valores mínimos, máximos, y promedio de temperatura, humedad relativa.

Tabla 1. Temperaturas y humedades relativas entre 9 y 17 de enero 2009

Temperatura mínima [°C]	Temperatura máxima [°C]	Temperatura media [°C]	Amplitud térmica [°C]	H.R. mínima [%]	H.R. máxima [%]
14.85	44.40	28.34	30.5	14.25	99.25

En la Fig. 6, se muestra la radiación y la humedad relativa, fueron días claros y calurosos, con bajo porcentaje de humedad. Los valores de radiación estuvieron entre los 831 y 1100 W.m⁻², y humedades relativas de 14% hasta un 90%.

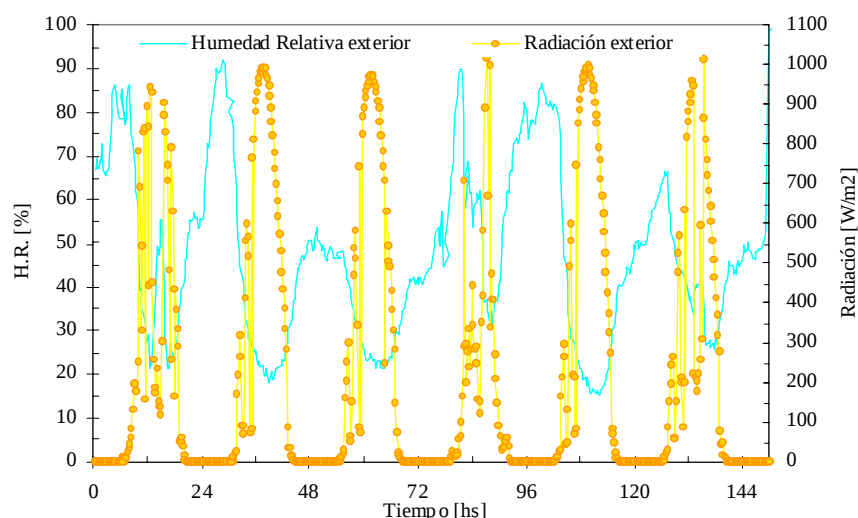


Figura 6- Radiación y humedad relativa exterior 09 -17 enero 2009.

En la Tab. 2, se muestran las temperaturas experimentales, máxima, mínima y promedio de los locales para los días seleccionados.

Tabla 2. Temperaturas mínimas y máximas de los locales 09 – 17 enero 2009

Temp. [°C]	Oficina	Cámara de siembra	Microbiología	Biología Molecular	Cámara de cría	Sala de lavado
Tmín	30.3	27.8	27.2	29.1	27.5	27.4
Tmáx	34.2	31.9	33.8	33.9	31.3	34.6
Tmedia	32.1	29.7	30.1	31.4	29.3	31.1

3.1 Simulación con SIMEDIF

Para predecir el comportamiento del edificio y las modificaciones realizadas a partir de la contrastación con los datos experimentales se realizó ambas simulaciones utilizando el programa SIMEDIF para WINDOWS (Flores Larsen y Lesino, 2000; 2001a). Los elementos con que trabaja este software para la modelización son paredes, tabiques, muros de agua, ventanas y ventanillas. Mayor detalle del modelo térmico del programa se encuentra en Flores Larsen y Lesino (2001b; 2001c; 2002a; 2002b).

Para realizar la simulación del edificio en estudio se definen once locales, cincuenta paredes, 2 tabiques, 6 ventanas y nueve puertas. Se destaca que los techos y pisos de todos los locales son considerados como paredes, debido a su estructura masiva, mientras que el lucernario y el área de techo construida con ladrillos cerámicos se considera como tabique. Debido a que en el entorno del edificio existen obstáculos apreciables (cortinas de árboles), y construcciones cercanas una de las variables de ajuste de la simulación es el área de radiación, la segunda variable de importancia es la renovación de aire de cada uno de los locales.

Las contrastaciones se realizaron entre: las primeras simulaciones que se realizaron para predecir el comportamiento del edificio, ajustadas con los valores obtenidos experimentalmente, y la simulación obtenida con las modificaciones propuestas de aquella.

En esta última simulación, se tuvo en cuenta los nuevos elementos agregados en el techo, corrigiéndose los coeficientes de absorción, las capas de las paredes, y los correspondientes a las características físicas de cada material. Debido a la masa del edificio fue necesario realizar la simulación de su comportamiento térmico durante cinco días previos a fin de lograr el régimen estacionario bajo condiciones iniciales de temperatura medidas.

La Fig. 7, muestra las simulaciones térmicas para la oficina (T_a Of [Sim]), (T_{Sim} . Of. Remodelada), la temperatura experimental (T_a Of. [exp]), y la temperatura del ambiente exterior, (T_a ext.). Durante este periodo, la actividad del personal en el edificio fue reducida. En ellas se observan un buen ajuste de las temperaturas medidas experimentalmente y simuladas. El desfase de ambas curvas es entre 0.5 y 1.5 °C para la temperatura y de una hora en el tiempo. Si se compara las curvas obtenidas entre las dos simulaciones se observa que la obtenida con las remodelaciones en techo se encuentra por la tarde, a una temperatura inferior de hasta 2 °C.

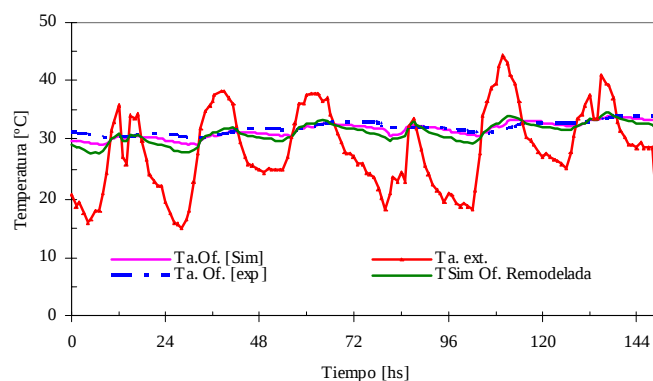


Figura 7- Temperatura simulada, experimental y exterior de la oficina.

En la Fig. 8, es posible observar las situaciones en el interior del laboratorio de Biología Molecular. Se presentan un buen ajuste preliminar entre el experimental (Ta. B.M [exp]) y el simulado en condiciones iniciales del edificio, Ta. BM. [Sim], se ve además, en la curva de la simulación con las modificaciones en el techo la temperatura en el laboratorio (TSim BM Remodelada) disminuye hasta los 3 °C, con amplitudes térmicas de hasta 5 °C.

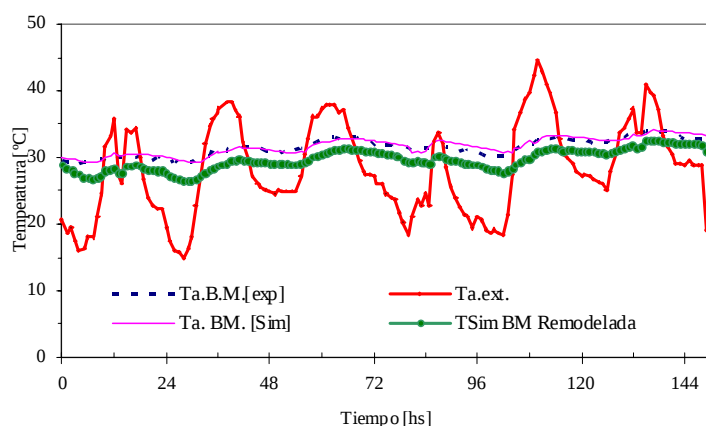


Figura 8- Temperaturas simuladas, experimental y exterior del Laboratorio de Biología Molecular.

Otro de los espacios importantes del centro experimental es la sala de lavado y dosificación de medios de cultivos. En la Fig. 9 se presenta los datos medidos y los simulados. Se observa como el comportamiento de las dos simulaciones sin remodelación y remodeladas se comportan de la misma manera que la experimental, alcanzando amplitudes térmicas de hasta 7 °C. Se debe tener en cuenta que este local tiene tres ventanas vidriadas orientadas hacia el Norte sin ningún tipo de protección y otra hacia el oeste, además de un lucernario en el techo.

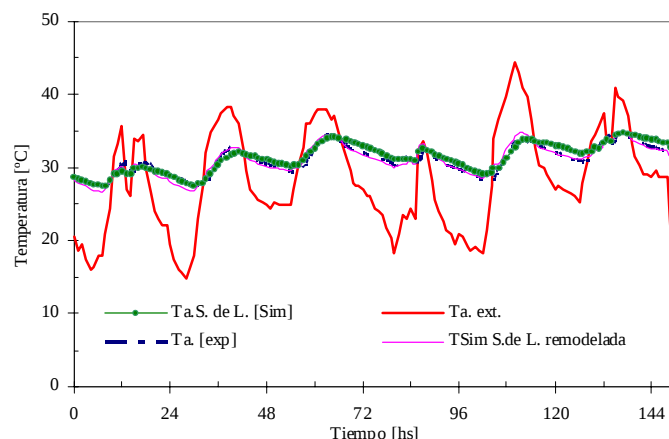


Figura 9- Temperaturas simuladas, experimental y exterior de la Sala de Lavado y preparado de Medios de Cultivos.

En la Fig. 10, se observa el comportamiento térmico del laboratorio de Microbiología, utilizado para realizar Análisis Inmunológicos. Este local, fue el último en construirse, tiene sus paredes expuestas al oeste, y al sur. De los valores registrados, el desfase entre las temperaturas simuladas de las situaciones, iniciales (Ta. Microb. [S]), y la

simulada con techo remodelado, está comprendido entre 1 °C y 1,5 °C, mientras que entre esta última se encuentra 2 °C por debajo de la temperatura experimental.

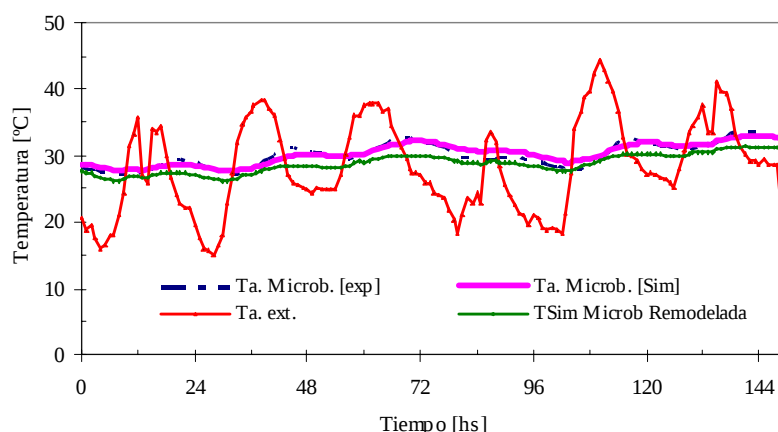


Figura 10- Temperaturas simuladas, experimental y exterior del Laboratorio de microbiología.

3.2 Modificaciones realizadas en la sala de lavado

A los efectos de resolver los riesgos de discomfort visual de los usuarios de la sala de lavado y a su vez con el objetivo de mejorar las condiciones de aprovechamiento energético de la luz natural, se diseñaron dos estrategias:

Ventanas laterales. Para el control de la luz directa proveniente del sol, que ingresa sobre las ventanas ubicadas en la fachada norte, se dimensionaron estantes de luz exteriores al vidrio, que según el estudio del trazado de los rayos incidentes que se muestran en la Fig. 11, bloquearán la radiación directa por redireccionamiento de los mismos hacia el cielorraso. Estos estantes colocados en las ventanas de la fachada norte, son metálicos de 0.20 m de ancho, y están pintados con esmalte sintético blanco brillante, Fig. 12.

Lucernario. Para reemplazar el lucernario cenital se construyó sobre el techo de la sala de dosificación un block con aberturas vidriadas en sus laterales este – oeste y frontal norte. De esta manera si bien se limitó la cantidad de luz que ingresa se priorizó la orientación bioclimática óptima.

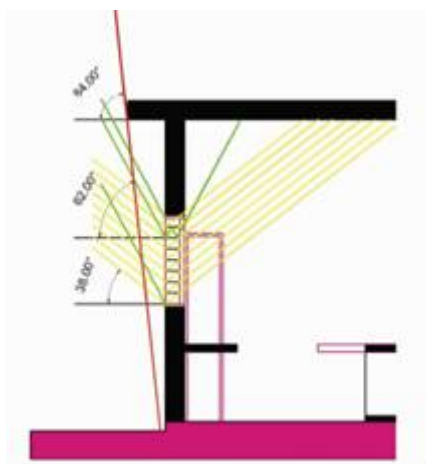


Figura 11- Dibujo de rayos incidentes y redirección de la iluminación solar directa



Figura 12- Ubicación de estantes en las ventanas fachada norte

Como estrategia para el control de la radiación directa, se eligió la difusión de la misma mediante una placa de policarbonato alveolar blanco traslúcido. La Fig 13, muestra detalles del conjunto diseñado y el estudio de los rayos de incidencia sobre el sistema cenital antes de su construcción y en la Fig 14, se observa la construcción terminada.

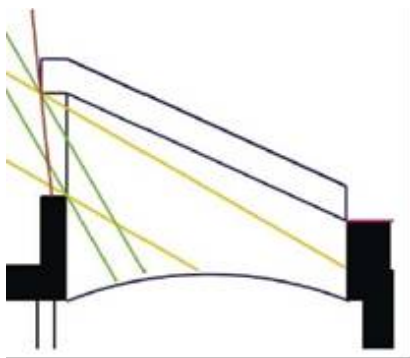


Figura 13- Detalle del conjunto diseñado y estudio de los rayos de incidencia sobre sistema cenital propuesto



Figura 14- Lucernario terminado

Las dos estrategias de control de iluminación directa, se diseñaron en función de las necesidades de iluminación para los respectivos puestos de trabajo y condicionadas al acceso de la luz natural preexistente. Una de ellas corresponde a la redirección (estantes de luz) que se realizó sobre ventanas laterales para mejorar la distribución de niveles de iluminación hacia el interior, aumentando la componente reflejada del interior. La segunda estrategia es de difusión la luz solar directa, mediante el panel difusor de policarbonato translucido del lucernario.

Resultados experimentales obtenidos. Los valores registrados con el medidor LICOR, en el interior y exterior para un día despejado en las mesadas de la sala de dosificación se muestran en la Tab. 3 para la ubicada en el centro.

Tabla 3. Iluminación en mesada central de sala de dosificación y exterior en lux.

Hora	1	2	3	4	5	6	Exterior
9	397	412	432	316	516	568	2616
10	789	860	763	743	1070	934	3986
11	990	1113	950	903	1270	959	10746
12	1142	1100	1009	1060	1312	1054	18493
13	1303	1250	1024	1028	1300	1059	20600

De las mediciones realizadas, se observa que para días claros, los valores de iluminación que se alcanza en las mesadas, en horas de trabajo, cumplen satisfactoriamente con los requeridos por las norma IRAM-AADL J 2006 para la iluminación para superficies horizontales, comprendidas entre los 200 y 400 lux para tareas a realizar en este tipo de laboratorio, sin la necesidad de utilizar fuentes de iluminación eléctrica.

En las Figs. 15 y 16, se muestran las fotos del interior del local iluminado a través de las ventanas y del nuevo sistema cenital.



Figura 15- Foto del interior de la sala con iluminación desde ventanas norte.



Figura 16- Foto del interior de la sala con iluminación desde sistema cenital

4. Conclusiones

De los resultados obtenidos en la simulación térmica del edificio propuesto como laboratorio de micropropagación agámica, se pueden extraer las conclusiones descriptas a continuación.

Cuando las condiciones climáticas externas son días calurosos, el edificio requiere un aporte auxiliar de energía utilizando sistemas de enfriamiento, especialmente en los locales de biología molecular, y oficina de recepción, siendo necesario la apertura de ventanas y puertas del edificio además del funcionamiento de ventiladores y aire acondicionado.

El uso de SIMEDIF resultó apropiado para contrastar las simulaciones con los datos experimentales, con diferencias de entre 0,5 y 1,5 °C entre medición y simulación en locales.

Si bien las simulaciones y el monitoreo del edificio en periodos de no ocupación por parte del personal técnico permitió analizar con mayor detalle su respuesta dinámica ante la apertura y cierre de puertas y ventanas, el uso de sistemas de enfriamiento todavía es necesario para lograr un ambiente de confort en la mayoría de los locales.

El mejoramiento de las condiciones de confort y el ahorro de energía se alcanzaría con la incorporación de aislamiento térmico a la envolvente según cada caso para reducir la carga de enfriamiento y de calefacción. Consideramos que aislar la cubierta en una primera etapa es la medida de mejoramiento más simple y económica, opción que sumada a las estrategias de climatización natural que ya tienen los usuarios incorporadas a su rutina de vida, sin ninguna duda, permitiría reducir el consumo de energía, mejorando las condiciones de confort. En un próximo trabajo se evaluará el costo del mejoramiento de la resistencia térmica de la envolvente superior.

Se debe seguir trabajando, con la incorporación de estrategias de diseño, especialmente con el agregado de aislación térmica en las envolventes, protección en aberturas, para adecuar el edificio a requerimientos bioclimáticos de producción de plantas a través de producción agámica, brindar adecuado confort a los técnicos, reduciendo además el uso de sistemas de energías convencionales, lo que ocasionaría una disminución en los gastos en consumo energético.

De acuerdo a las recomendaciones de las normas IRAM, los resultados obtenidos en las mediciones se desprende que las modificaciones realizadas en el sistema de iluminación natural fueron las correctas logrando reducir el riesgo de deslumbramiento sobre el campo visual de los usuarios, obteniéndose valores óptimos de iluminación en las mesadas en donde se realizan los trabajos para la producción de plantas

REFERENCIAS

- Flores Larsen S. y Lesino G., 2000, "SIMEDIF 2000: nueva versión del programa de diseño y cálculo de edificios". *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 4, 2, pp. 8.53-8.58.
- Flores Larsen S. y Lesino G., 2001a, "A new code for the hour-by-hour thermal behavior simulation of buildings". *Seventh International IBPSA Conference on Building Simulation*, pp. 75-82, ISBN 8590193942, Río de Janeiro, Brasil.
- Flores Larsen S. y Lesino G., 2001b, "Modelo térmico del programa SIMEDIF de simulación de edificios". *Revista Energías Renovables y Medio Ambiente* 9, pp.15-24, ISSN 0328-932X, Argentina.
- Flores Larsen S. y Lesino G., 2001c, "Incorporación de módulos de enfriamiento evaporativo e intercambiadores tierra-aire al programa SIMEDIF". *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 5, pp. 08.31-08.36. ISSN N° 0329-5184, Argentina.
- Flores Larsen S. y Lesino G., 2002a, "Modelización de la transferencia de calor en edificios". *Actas del 9° Congreso Latinoamericano de Transferencia de Calor y Materia LATCYM 2002*, pp. 66, Puerto Rico. ISBN 0-9726071-0-2.
- Flores Larsen S. y Lesino G., 2002b, "Programa de diseño y simulación de edificios". *Actas del XI Congreso Ibérico y VI Congreso Iberoamericano de Energía Solar*, Portugal.
- García V., Iriarte A. Flores S. y Lesino G. "Monitoreo Higrotérmico de un edificio acondicionado para propagación agámica de plantas". *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente Vol. 12, 2008.Pag. 2.29 – 2.35. ISSN 0329-5184. Argentina*
- NORMA IRAM-AADL J 2006

THERMAL SIMULATION OF A BUILDING FOR PLANT PRODUCTION AGAMIC AND PROPOSALS TO REDUCE POWER CONSUMPTION

Abstract. The new packaging technologies and hybrid passive integrated agro-industrial use buildings can: improve lighting and thermal conditions, reduce the use of energy resources, environmental impact and dependence on artificial air conditioning systems. The objective of this study is to know the behavior of a building for the multiplication of plants, of great importance to the economic development of the region, in order to adapt its bioclimatic design strategies and propose lighting systems for energy savings. Measurements of temperature, lighting and internal and external humidity in different parts of the building with automatic datalogger for one year. Proposals are made to reduce electricity consumption by incorporating daylighting systems in laboratories spread. Shows the results of monitoring during the month of January 2009, and building thermal simulation in its initial conditions and some changes made using the SIMEDIF program for Windows. The results of measured and simulated period of construction have proven the reliance on external climatic variables and aspects of housing construction, which influence energy savings.

Key words: Thermal Simulation, Agamic Production, Energy Consumption