

DEMOSTRACION DEL COMPORTAMIENTO FISICO DE LOS MATERIALES, EN RELACION A LA HABITABILIDAD Y USO DE SISTEMAS PASIVOS

Gustavo San Juan ⁽¹⁾, Rosario Rosas ⁽²⁾, Norma Balverdi ⁽²⁾
Instituto de Estudios del Hábitat. Facultad Arquitectura y Urbanismo. UNLP
Escuela Técnica N°4 de Romero, la Plata, Buenos Aires, Argentina.
Calle 47 N° 162, c.c. 478, (1900) La Plata, prov. de Buenos Aires, Argentina.
Tel/Fax: 0221-4236587/90. E-mail: gsanjuan@topmail.com.ar

RESUMEN. El trabajo expone la justificación metodológica, fundamentación didáctica, técnicas y resultados obtenidos en experiencias realizadas con alumnos de nivel secundario, en la demostración del comportamiento físico de materiales en relación a la incidencia solar. Conceptos a ser aplicados en la habitabilidad de viviendas y uso de sistemas pasivos. Se realizaron diversas actividades prácticas evaluando la capacidad de calentar aire y agua y su posible conservación, bajo las siguientes consignas: i. Incidencia del color de la superficie de colección; ii. Influencia de la masa en la acumulación y retraso térmico, iii. La acción de la aislación térmica en la conservación del calor generado; iv. El calentamiento de agua, bajo el concepto del “efecto invernadero”.

Palabras Clave: Didáctica – comportamiento térmico – sistema pasivo - materiales

INTRODUCCION

El trabajo expone la justificación metodológica, fundamentación didáctica, técnicas y resultados obtenidos en la demostración del comportamiento físico de los materiales bajo la incidencia de la radiación solar, con el objeto de poder incorporar los conceptos estudiados en la mejora de las condiciones de habitabilidad en viviendas de recursos escasos, incluyendo los conceptos *de conservación y sistemas pasivos (C+P)*. El proyecto se desarrolla en el marco del “Programa de Proyectos Innovadores en Ciencia y Tecnología - PRICyT”, bajo la supervisión de la “Dirección de Educación Media. Técnica y Agraria - DEMTyA”, la “Unidad Ejecutora Provincial - UEP”, ambas de la Dirección General de Cultura y Educación de la provincia de Buenos Aires, Argentina, y la “Comisión de Investigaciones Científicas - CIC” de la misma provincia. El proyecto fue desarrollado en la Escuela Técnica N°4 de la localidad de Romero, provincia de Buenos Aires (Proyecto N°75, 2001)

Se trabajó en la demostración empírica de los conceptos de: i. El coeficiente de reflexión de la superficie en función de su color, en relación a la producción de calor: color negro, amarillo, blanco; ii. La influencia de la *masa* en la acumulación y retraso térmico: tecnología liviana, pesada y semipesada ; iii. La influencia de la *aislación térmica*, con el objeto de conservar el calor generado: sin aislación, con aislación intermedia y con fuerte aislación; iv. La generación de *calentamiento de agua* utilizando sistemas pasivos, bajo el concepto de “efecto invernadero”. Las experiencias se realizaron sobre la construcción de lo que llamamos Módulos Captadores (MC), o módulos de producción de aire caliente, en los cuales se registró la respuesta térmica de las diferentes dimensiones analizadas y sus variantes; en un cierto período temporal; según protocolos normalizados. Se obtuvieron temperaturas máximas y mínimas, amplitudes térmicas, carga térmica y comparación de las variantes propuestas. El registro se realizó con micro-adquisidores de datos electrónicos con sensores a distancia y termómetros digitales.

Los resultados obtenidos justifican y demuestran además la posibilidad de aplicar criterios pasivos de calentamiento de aire y agua en la mejora de las condiciones de habitabilidad y el uso racional de los recursos familiares escasos.

DESCRIPCION DEL PROYECTO

El proyecto global tiende por un lado a cubrir cierta demanda de la población cercana a la unidad educativa, en cuanto a mejora de las condiciones de habitabilidad de sus viviendas y el uso racional de los recursos familiares escasos. Por otro lado se tiende a generar conciencia de los problemas ambientales, energéticos y de mantenimiento edilicio. Así mismo, capacitar a los alumnos de la especialidad “Construcciones”, en cuanto a la disponibilidad de tecnología (técnica + conocimiento) existente, probada y de última generación. Estos mismos alumnos, posibilitarán la incorporación en el hábitat doméstico de los conocimientos y prácticas adquiridas, mejorando en forma directa la calidad de vida de la población.

Este proyecto, es la primer etapa (etapa conceptual) de un proyecto mayor, el cual comprende la construcción de un *Módulo Experimental Demostrativo (MED)*, con la particularidad de ofrecer un “banco de pruebas”, para experimentación,

⁽¹⁾ Investigador CONICET – Tutor Científico del Proyecto.
⁽²⁾ Profesor Nivel Medio – EET N°4. Profesores responsables.

prueba de eficiencia y prácticas constructivas, con los siguientes sistemas: i. calentamiento da agua solar (colectores solares); ii. electricidad solar (fotovoltaica); iii. muros colector de producción de calor (pesado, liviano, de agua); iv. Fuente de calentamiento auxiliar. El MED contemplará además la función de “servicio sanitario” como unidad demostrativa de los sistemas, entendiendo que este es el módulo base específico para una vivienda de comunidades carenciadas.

Objetivos

General: Transferir conocimientos técnico-científicos en los temas: habitabilidad, confort, uso racional de la energía (URE), recursos renovables, mantenimiento edilicio, sistemas pasivos, comportamiento físico de los materiales de construcción.

Particulares: i. Introducir al alumno en la problemática ambiental expuesta; ii. Realizar experiencias teórico-prácticas, de modo de aprehender los conceptos vertidos y familiarizarse con instrumental y técnicas de “audit.-diagnóstico”; iii. Diseñar los requerimientos (técnicos, sociales, económicos) necesarios para proyectar y construir en una segunda etapa del proyecto el MED; iv. Desarrollar un informe con el material adquirido el cual sintetizará: metodologías utilizadas, instrumental, componentes, protocolos, resultados, conclusiones, evaluación.

Resultados esperados: A través de este proyecto los alumnos encontrarán respuestas y posibles aplicaciones en la resolución de problemas que corresponden a su especialización y que aquejan en forma directa a la comunidad y su hábitat. Se espera introducir al alumnado en metodologías y técnicas que se centran en el Diseño Ambientalmente Consciente para luego poder avanzar en una segunda etapa hacia desarrollos optimizados. Los alumnos serán los portadores de soluciones e incorporación de tecnología apropiada en la comunidad de origen.

DESARROLLO

El proyecto abarcó dos actividades: 1. La realización de una auditoría ambiental sobre los parámetros ambientales de sonido, iluminación natural y artificial, temperatura, humedad y consumo energético del establecimiento escolar; 2. Experiencias explicativas, de comprobación de hipótesis, acerca del calentamiento de fluidos, agua y aire. El Plan de Trabajo se desarrolló comprendiendo las cuatro instancias en el proceso de investigación: *conceptual, empírica, operativa, expositiva* (Samaja J, 1993). El presente trabajo sólo describirá en forma sintética esta segunda actividad.

Instancia Conceptual

Contempló la “Planificación” y “Formulación del problema”, introduciendo al alumno en los contenidos básicos con los cuales desarrollaron posteriormente los trabajos prácticos de investigación. Se indujo al alumno en la comprensión, discusión y exposición del marco teórico de referencia y conocimiento del “problema”. Actividades: • Discusión de objetivos, desarrollos y mecánica operativa; • Conformación del grupo de trabajo; • Adquisición de equipos, herramientas y material bibliográfico; • Adecuación del espacio de trabajo; • Planificación de Actividades; • Descripción del encuadre conceptual.

Instancia Empírica

Contempló, el diseño del “objeto” de estudio y de los “procedimientos” involucrados, en la comprensión del marco conceptual y la planificación de las experiencias prácticas. Actividades: • Trabajo con material bibliográfico seleccionado, exposición de contenidos, discusión y resumen procesado en computadora; • Identificación de actividades; • Asignación de responsabilidades grupales; • Armado de protocolos; • Diseño de operaciones, • Análisis de antecedentes y normas. Se conformaron dos grupos de trabajo: a) Grupo Auditoría y b) Grupo Módulos Captoreos con las siguientes actividades: • Diseño de prototipos (MC); • Cómputo y presupuesto; • Compra de elementos; • Planificación de actividades. (Figura 1)



Figura 1: Actividades de comprensión del “problema”. Análisis de bibliografía seleccionada.

Instancia Operativa

Incluye la “recolección” y “procesamiento”, así como el “Tratamiento y Análisis” de la información. Se introdujo al alumno en la aplicación de una metodología de adquisición de información, así como en el manejo de equipo, herramientas y trabajo manual en la construcción de módulos captoreos en función del diseño de la investigación. Se indujo al alumno en el manejo de mecanismos tecnológicos, de precisión para comprender un cierto fenómeno, como así también verificar la información adquirida comparándola con estándares o con pre-conceptos adquiridos. Las tareas propuestas fueron las siguientes: •

Construcción en taller de los MC; • Preparación del lugar de pruebas. • Desarrollo de las cuatro experiencias; • Procesamiento de la información adquirida. Graficación de resultados; • Evaluación y conclusiones. (Figura 2, 3 y 4)



Figura 2: Construcción de los Módulos Captores.

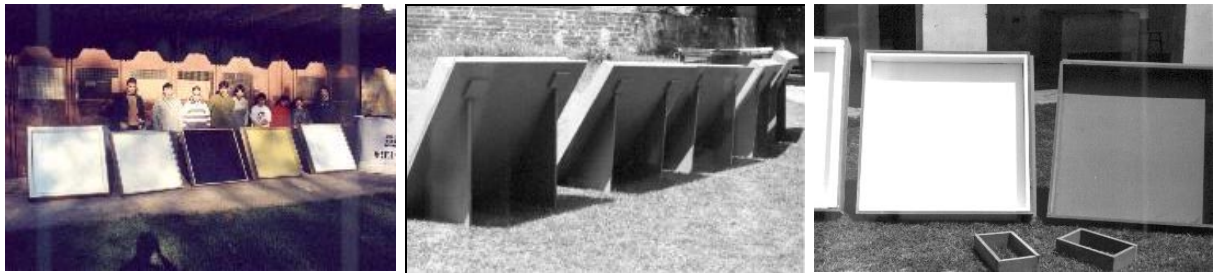


Figura 3: Vistas generales y parcial de los Módulos Captores.



Figura 4: Adquisición de datos en MC. Según coeficientes de reflexión, aislación térmica y masa.

Descripción del módulo captor: Cada módulo tiene una dimensión interior de 100 por 100 cm de lado, con una profundidad de 10cm. Construido con tablas de aglomerado de 18mm de espesor, atornilladas y pegadas. Para el caso de los módulos con aislación térmica, las dimensiones se incrementaron según el espesor de aislación, resultando de 104cm por 104cm por 12cm con aislación de 2cm de poliestireno expandido de 20kg/m³ y 110 por 110 por 15cm con un espesor de 5cm de aislación. Se respecta de esta manera igual volumen de aire interior para todos los MC. El color de las superficies (Blanco, Amarillo, Negro) se realizó mediante la aplicación de papel vinílico autoadhesivo en las caras interiores. Los bloques incorporados de diferente densidad, fueron forrados con el mismo material, color negro. Las botellas de vidrio de 1lt se pintaron de color negro mate. La superficie expuesta a la radiación se resolvió mediante una plancha de policarbonato alveolar, color cristal de 8mm de espesor, sujetas a los bordes del MC mediante ángulos de aluminio, de 15mm de ala. Se prestó especial atención a la estanqueidad del aire interior. A cada módulo captor se lo colocó con una pendiente de 60° en posición perpendicular a la orientación norte. Las mediciones se realizaron en un período diario entre las 10hs y las 14hs. (Figura 5)

Instrumental Utilizado: Para la medición de temperatura interior en forma manual se utilizó un multi termómetro digital con lanza y para la exterior un termohigrógrafo digital, ambas con un registro cada 2 minutos. La información recabada se procesó en forma manual y digitalizada en planilla Excel diseñada ad-hoc. En forma paralela se registró la temperatura exterior e interior utilizando micro adquirentes de datos con un registro cada 24 segundos. El procesamiento y graficación se realizó en software BoxCar versión 3.6+ para windows y planilla Excel.

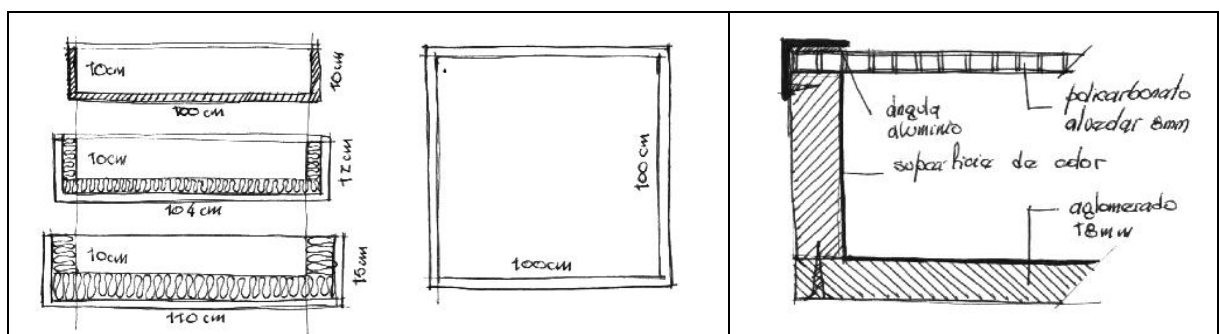


Figura 5: Dimensiones de los Módulos Captores (MC) y detalle entre la caja de aglomerado y la plancha de policarbonato.

Experiencia 1: Se verificó en cada Módulo Captor (MC) la curva de temperatura, con relación a tres tipos diferentes de coeficiente de reflexión superficial, definido por la diferente absorptancia, o el porcentaje de la radiación absorbida por la superficie (Negro =1). Producción de calor (°C) en función de un cierto período temporal (minutos). Los tres MC poseen similares características constructivas y dimensionales, sólo se varió el color de las superficies interiores, las cuales fueron solucionadas con la incorporación de papel vinílico autoadhesivo. Se registró una diferencia de temperatura entre el MC negro y el MC blanco de 18°C con una temperatura máxima para el primero de 80°C. (Figura 6)

Experiencia 2: Se verificó la variación de la onda térmica (situación máxima, mínima, retardo térmico) (°C y minutos), en función de la inclusión en el interior del MC de tres volúmenes iguales de diferente densidad (masa). MC1= seis volúmenes de 8 por 18 por 33cm de poliestireno expandido con una densidad de 20kg/me (liviano); MC2= idem anterior compuestos por ladrillos cerámicos con una densidad de 660kg/m3 Semipesado); MC3= idem anterior compuesto por seis volúmenes de hormigón con una densidad de 1800kg/m3. Todos los volúmenes con una superficie de terminación igual, color negra.

Se registró menor temperatura del aire interior en el MC de mayor masa (MC3), debido a la acumulación, observándose el concepto de retraso térmico. Para el MC1 se alcanza una temperatura máxima interior de 77°C y para MC3 de 60°C con un tiempo de exposición solar de 70 minutos. Este calor acumulado es entregado con un retraso térmico, evidenciándose a los 135 minutos un Δt de 5°C entre las situaciones de MC1 y MC3. (Figura 7)

Experiencia 3: Se verificó la variación de la onda térmica para cada uno de los tres MC en función de un grado diferente de aislación térmica. Se demostró la producción de calor (°C), y su mantenimiento en el recinto. MC1= sin aislación térmica, superficie interior color blanco; MC2= 2,5cm de poliestireno expandido (20kg/m3); MC3= 5cm de poliestireno expandido, igual densidad. Los tres MC poseen similares características en cuanto al volumen interior.

El Δt entre el MC sin aislación y el aislado es de 10°C, implicando el balance ineficiente entre ganancias y pérdidas. Al eliminar la incidencia solar se observa la rápida descarga del calor almacenado en el aire interior. (Figura 8)

Experiencia 4: Verificación de la temperatura alcanzada para calentar agua incluida en botellas pintadas de color negro. En 40 minutos de exposición a la radiación solar dentro del MC se eleva la temperatura del agua en las botellas 13,6°C con una temperatura máxima de 28,2°C. Temperatura inicial del agua 14,6°C y temperatura final de 28,2°C. Obsérvese en la figura la curva de la temperatura del aire dentro del MC que alcanza los 75°C y la curva estable de la temperatura exterior, con un promedio de 23°C. (Figura 9)

Instancia positiva

La cual incluye la “elaboración de informes” y “exposición de resultados”. Se diseñaron los requerimientos básicos en función de una segunda etapa del proyecto. Se ordenó y sistematizó la información obtenida y se expusieron los desarrollos y conclusiones de lo actuado. Se cumplieron con las siguientes actividades: • Realización el Informe Final de la experiencia

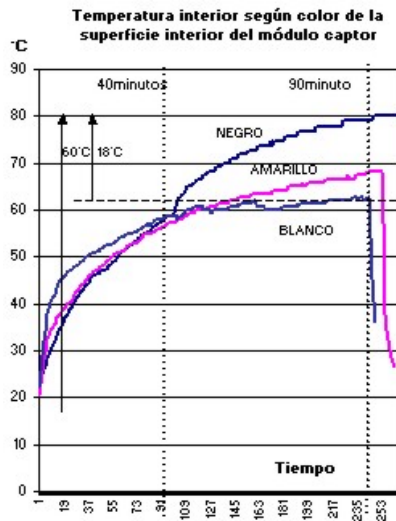


Figura 6: Experiencia 1. Color superficial.

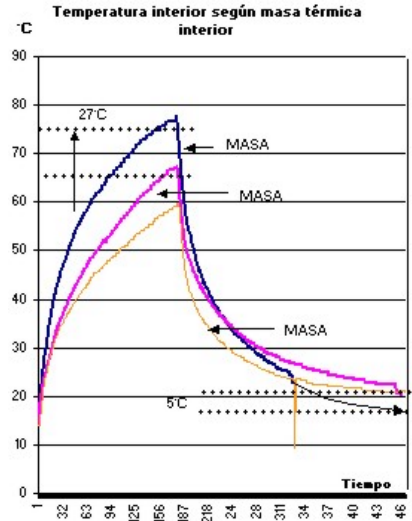


Figura 7: Experiencia 2. Masa térmica.

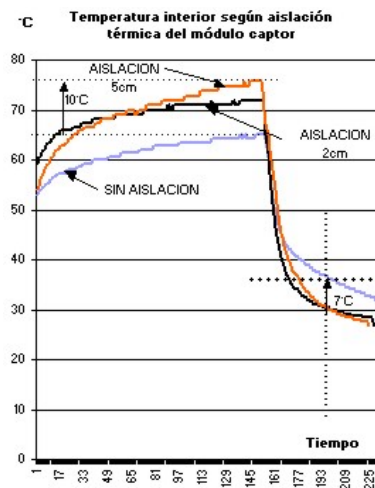


Figura 8: Experiencia 1. Color superficial.

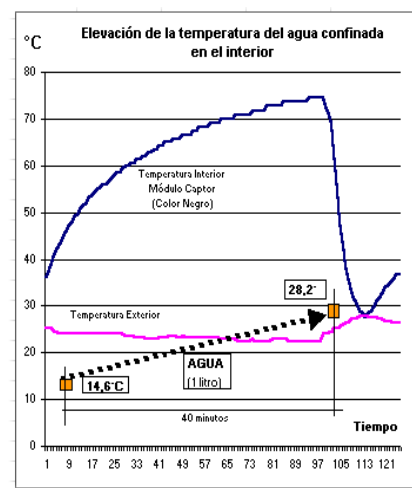


Figura 9: Experiencia 2. Masa térmica.

describiendo cada una de las etapas y experiencias desarrolladas; • Conclusiones y evaluación, tanto de la experiencia teórico-práctica como del desempeño del grupo de trabajo, alumnos, docentes y tutor, de modo de poder ajustar el funcionamiento para una posible continuación del proyecto; • Transferencias de la experiencia al resto del alumnado, docentes y comunidad; • Entrega del informe a la coordinación del PRICyT

CONCLUSIONES FINALES

Desarrollo Conceptual

- a. **Objetivos:** Los objetivos propuestos al presentar el proyecto fueron cumplidos en su totalidad y profundidad. Se transfirió conocimiento técnico-científico al ámbito educativo de nivel medio, introduciendo al alumno en la problemática ambiental propuesta. Este proyecto se basó fundamentalmente sobre un desarrollo conceptual verificando y comprobando teorías manejadas comúnmente en determinados ámbitos técnicos. Podemos decir que se demostraron hipótesis conocidas, que adecuadas al ámbito educativo sirvieron para comprender los fenómenos tratados y su posible implementación.
- b. **Metodología.** Las experiencias ayudaron a desarrollar una metodología con la cual demostrar las hipótesis planteadas. Se generaron y calibraron protocolos de actuación, además de construirse un equipamiento con el cual realizar este tipo de experiencias. Los alumnos respondieron en forma eficiente y eficaz a las tareas planteadas, entendiendo la manera de producir esta demostración, desde en aporte científico.
- c. **Instrumental.** Se obtuvo una buena respuesta del instrumental seleccionado y adquirido con relación a las experiencias diseñadas, al igual que se verificó una respuesta por demás aliciente al comprobar la responsabilidad asumida por el alumnado en el manejo del instrumental. (Figura 10)
- d. **Bibliografía.** La instancia conceptual y empírica se realizó mediante clases teóricas y utilización de material bibliográfico de referencia. Cada par de alumnos realizó un estudio y resumen de capítulos seleccionados. La escuela cuenta a partir de este proyecto con una importante fuente bibliográfica sobre los temas tratados y colaterales.



Figura 10: Utilización de instrumental, procesando la información y botellas pintadas de color negro para calentar agua.

Construcción de los Módulos Captores y diseño de protocolos:

En la construcción de los MC no hubo dificultades. Tanto en la adquisición de materiales como en la propia realización. Los alumnos demostraron tener habilidades suficientes como para accionar sin un seguimiento cercano, resolviendo por ellos mismos las dificultades propias del trabajo. Esta fue una tarea gratificante, la organización de las tareas, el responder a los tiempos previstos, y fundamentalmente el cuidado y prolijidad esgrimidos al realizar cada una de las actividades. Se entiende que los MC debían ser perfectamente iguales y no tener vicios en su ejecución, lo que haría factible la aparición de errores y la no posible comparación de resultados. Por otro lado debían ser resistentes al traslado y al paso del tiempo. Se diseñaron los protocolos de medición con el fin de planificar y comprender objetivos particulares, variables, tareas, tiempos, resultados.

Realización de las experiencias con los Módulos Captores:

Se realizaron según lo previsto en los protocolos y coincidiendo los días fijado con situaciones de cielo diáfano de máxima radiación. Esto nos permitió la obtención de valores estándar sin obstrucciones, en forma continua en los mismos horarios (10hs a 13hs) a igualdad de cielo.

- a. **Color de la superficie colectora.** Se obtuvo una buena respuesta en la obtención de registros cada 24 segundos, con una duración de 106 minutos. En la gráfica se observa que a partir de los 40 minutos de expuesto a la radiación solar el MC, la temperatura interna del MC con superficie color negro se despega, alcanzando una temperatura máxima de 80°C. Por un lado se debe tener en cuenta que la medición fue finalizada a las 11,46 no habiéndose llegado al mediodía solar. Por otro lado a esa hora la curva se hacía acintótica con respecto al eje horizontal temporal lo que verificaba un futuro incremento de la temperatura según la sinusoide diaria. Se obtuvo una diferencia entre el color blanco y el negro de 18°C. En el gráfico se puede observar la zona de generación de calor. Se verificó también el calor producido pudiéndose este principio asociarse no sólo a calentamiento de agua, sino a destilación de agua, secado de productos o directamente cocción.
- b. **Aislación térmica.** Debíamos comprobar por un lado, cómo era la producción de calor en el MC con las variantes de aislación (sin, 2cm y 5cm). Por un lado entre la situación sin aislar y la aislada con 5cm se obtuvo una diferencia de la temperatura interior de 10°C, debido a que en el caso aislado se minimizaban las pérdidas térmicas obteniéndose una ecuación de eficiencia entre las ganancias y pérdidas térmicas. Por otro lado al eliminar la radiación solar, o sea la generación de calor, la temperatura en el MC aislado perduró en el tiempo, obteniéndose temperaturas medias más altas. Aproximadamente entre 5 y 7° en la media hora siguiente. Hablamos de “conservación”.
- c. **Masa térmica.** La demostración de la capacidad calórica de los materiales en función de su masa (densidad) era otra de las premisas del proyecto. Para ello se trabajó con el objeto de conocer cuál era la posibilidad de almacenamiento e

inercia térmica. La primera conclusión fue que la temperatura del aire en el MC con masa liviana se elevó hasta los 78°C, mientras que el MC con masa pesada sólo llegó hasta los 60°C, o sea 18°C de diferencia. Consecuencia, el calor se almacenó en la masa. A los 70 minutos se finalizó la medición limitando la incidencia de radiación y el calor almacenado en la masa pesada comenzó a ser entregado al ambiente con un cierto retraso térmico, con una diferencia de temperatura aproximada de 5°C. La experiencia debería haber sido prolongada por unas 10 horas más con motivo de conocer el momento de estabilización y equilibrio de las tres curvas de temperatura.

- d. **Calentamiento de agua.** Esta experiencia final, fue motivo de comprobar que además de aire, se podía calentar con el mismo principio de “efecto invernadero”, agua, la cual puede ser almacenada o aprovechada directamente para el uso familiar. Esta experiencia de calentar agua en botellas es usada en situaciones de pobreza. Otras experiencias similares como calentar en bolsas negras el agua para ducharse en campamento. O la posibilidad más elaborada de producir agua caliente en colectores solares planos. Se obtuvo en un período de exposición de 40 minutos la elevación de la temperatura de 1 lt de agua en 13.6°C, de 14,6°C (inicial) a 28,2°C (final).

Agradecimiento: Para las experiencias realizadas se contó con el apoyo metodológico y de instrumental del Instituto de Estudios del Hábitat (IDEHAB), de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU) de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), del cual el tutor responsable es investigador. Agradecemos al apoyo del Ing. Tambornino, coordinador regional del Programa PRICYT. Y se agradece especialmente a las autoridades de la EET N°4, quienes trabajaron denodadamente en apoyo del proyecto y posibilitaron su concreción, a su Directora, la Arq. Susana Ruggeri y a docentes y no docentes que apoyaron permanentemente su desarrollo. A los alumnos, destinatarios principales de nuestra labor.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFIA

- Chajkowski-Gomez. (1994). Introducción al Diseño Bioclimático. Colección cátedra. UNLP.
Gonzalo Guillermo. (1998). “Manual de Arquitectura Bioclimática” Facultad de Arquitectura de Tucumán.
Ken Kern. (1979). La casa autoconstruida. Gustavo Gili SA.
Koniq A. Diseño en zonas Áridas: clima, zonas y bienestar.
Olgiay V. (1998). Arquitectura y Clima. Gustavo Gili SA.
Proyecto N°75. Informe Ejecutivo (2001). Habitabilidad y Energías Renovables para el hábitat de escasos recursos. Escuela de Enseñanza Técnica N°4. Programa PRICYT, DEMTyA, DGCyE de la prov. de Buenos Aires. Profesores responsables: Arq. Rosario Rosas y MMO Norma Balverdi, Tutor científico: Arq. Gustavo San Juan. Director del establecimiento: Arq. Susana Ruggeri.
Vale R. Vale B. (1980). La casa autosuficiente. H.Blume Ediciones.
Samaja J. (1993). Epistemología y Metodología. Elementos para una teoría de la investigación científica. EUDEBA.
Serra Florensa R. (1999). Arquitectura y Climas. Gustavo Gili, Básicos.
Serra Florensa, R. Coch Roura H.. (1991). Arquitectura y Energía Natural. Ediciones UPC. Barcelona.
Rosenfeld E., Guerrero J., Ravella O. (1984) . La casa Solar de La Plata. Instituto de Arquitectura Solar (IAS). Inédito.

ABSTRACT. The work exposes the methodological justification, didactic foundation, techniques and results obtained in experiences carried out with students of secondary level, in the demonstration of the materials physical behaviour in relation to the solar incidence. Concepts to be applied in the dwellings habitability and passive systems usage. Diverse practical activities were carried out evaluating the air and water heating capacity and their possible conservation, under the following items: i. Collector surface colour incidence; ii. Mass influences in the accumulation and thermal delay, iii. Thermal insulation action in the generated heat conservation; iv. Water heating, under the “greenhouse effect” concept.

Key Words: Didactics–thermal behaviour–passive system - materials