

## SISTEMA DE PROTECCIÓN DEL AISLAMIENTO E IMPERMEABILIZACIÓN DE TECHOS EVALUACIÓN DE VIVIENDAS DEL DESIERTO

Moisés Galindo Duarte, Carlos Pérez Tello, José Luis Benites Zamora, Ma. de los Angeles  
Santos Gómez, Osvaldo Leyva Camacho  
Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California  
mgalindo@iing.mx, l.leyva@uabc.mx

Recibido para evaluación: 20 de Agosto de 2008  
Aceptación: 5 de Diciembre de 2008  
Entrega de versión final: 10 de Diciembre de 2008

### Resumen

Se desarrolló un sistema de cubierta para protección de aislamientos e impermeabilizantes sobre los techos de viviendas en zonas desérticas con el propósito de reducir el sobrecalentamiento por asoleamiento directo y con ello la carga de enfriamiento a los sistemas de climatización. Para lograr esto, se diseñaron y construyeron dos prototipos de prueba para reproducir el comportamiento térmico de las viviendas bajo diferentes condiciones de aislamiento y cobertura de techos. Se analizó su viabilidad técnica, legal, organizacional, ecológica y económica en el noroeste de México. El efecto de la variación de temperatura exterior horaria se determinó mediante la metodología de horas-grado durante el periodo experimental. Se determinaron también el consumo eléctrico y los potenciales ahorros de energía para diferentes tamaños y capacidad de enfriamiento de las viviendas. Los resultados indican la factibilidad de la implementación de cubretechos en viviendas con áreas superiores a 80 m<sup>2</sup> en climas extremos.

**Palabras Clave:** Aislamiento térmico, Impermeabilización, Techos, Vivienda, Clima extremo.

### Abstract

A system to cover and protect the insulation and waterproofing of desert-housing roofs was developed. This work was carried out to reduce heat gains caused by direct incident sun light and to diminish heat loads into air conditioning systems. To achieve this, two prototypes were built and the thermal behavior of their roofs was analyzed under different conditions of insulation and roof-coating. Legal, technical, ecological and economic feasibility of using this system on roofs for northwest of Mexico's housing was examined. The effect of outdoors hourly temperature was taken into account by the hour-degree methodology during the experiments. Electricity consumption as well as potential energy savings for different housing conditioned areas and installed cooling capacity were also quantified. The results indicate an attractive feasibility of installing roof covering on housing located on extreme climates with conditioned areas above 80 m<sup>2</sup>.

**Keywords:** Waterproofing, Roof insulation, Desert housing, Extreme climate.

## 1. INTRODUCCIÓN

En el Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California se analizó el efecto de colocar una estructura sobre los techos de las viviendas de la ciudad de Mexicali, que está situada en la zona desértica del noroeste de México. El propósito principal fue reducir la carga térmica y proteger la impermeabilización y el aislamiento térmico proporcionando resguardo y preservación de los materiales en los techos evitando que reciban directamente radiación solar. En la Figura 1 se observa un techo del tipo de vivienda más común que ofrece la industria de la construcción de Baja California, México, que consiste de muros de bloque de cemento-arena y techo de concreto reforzado. Este sistema constructivo sustituyó al tradicional techo de madera con ático ventilado que se utilizaba a mediados del siglo XX con el cual se reducía el calentamiento del techo mediante un flujo convectivo natural del aire (Schorr, Galindo y Pérez, 2006). La construcción actual presenta elevadas conductividades térmicas y consecuentemente, mayores ganancias de calor reduciendo el confort al interior de

la vivienda tanto en verano como en invierno. Para la impermeabilización de la cubierta generalmente se utiliza cartón arenado adherido con algún material asfáltico que por el asoleamiento y las temperaturas superficiales, que pueden fácilmente alcanzar los 60°C en la parte exterior del techo durante el verano, se producen agrietamientos y filtraciones que reducen su vida útil. Recientemente, se han adoptado medidas tales como recubrir los techos con pintura elastomérica reflectiva reforzada con malla sintética tejida para hacerla más resistente a la dilatación y contracción por temperatura y, desde 2008 se comercializa ya un tipo de cubierta reflectiva más resistente y durable que no requiere de la malla sintética. Además del efecto reflejante, estas cubiertas actúan como impermeabilizantes y los fabricantes las garantizan por periodos que van de los tres a los ocho años. Para el aislamiento térmico se utilizan diversos materiales entre los que sobresale el poliestireno expandido o la espuma de poliuretano colocado sobre el techo y cubierto con la impermeabilización. Recientemente se ha popularizado el uso de colchoneta de fibra de vidrio por el interior.



**Figura 1.** Vivienda de muros de bloques de cemento-arena y techo de concreto reforzado

El tipo de edificación requerida en las zonas desérticas debe ser tal, que además de satisfacer las necesidades básicas de sus habitantes, haga frente a la situación climática reduciendo las ganancias térmicas en la temporada de verano y promoviendo las mismas en el invierno. Por ello se presenta la necesidad de emplear elementos pasivos y arquitectónicos (por ejemplo, toldos de lona o aleros inclinados, persianas de aluminio, vidrios polarizados, recubrimientos, películas reflectivas), además de vegetación para el sombreado de las superficies que reciban asoleamiento directo (Galindo, 2007). El sistema de aislamiento más común es sobre muros y techos con placas de poliestireno de 2.54 cm (1 pulg.) o 5.08 cm (2 pulg.). En los techos, el hecho de instalar el aislamiento exteriormente provoca la desventaja de hacerlo sensible a daños por maniobras y tráfico, además de dañar el impermeabilizante.

En base a información del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática en el centro de población de la ciudad de Mexicali, en el 2005 se contaba con una población de 710,590 habitantes (INEGI, 2005), se estimó para el año 2008 una población de la zona urbana de Mexicali de 767,044 habitantes. La ciudad está ubicada en una zona desértica en la cual se presentan oscilaciones de temperatura diaria en verano que van desde 26°C a 34°C como mínimas y de 40°C a 49°C como máximas; en el invierno se tienen temperaturas mínimas entre 4°C a 10°C y máximas de 15°C a 20°C. Sin embargo, las temperaturas extremas anuales van desde 0°C en enero a 50°C en julio lo que genera enormes tensiones térmicas y deterioro acelerado en los materiales constructivos a lo largo del año y, específicamente en los utilizados para techos, su impermeabilización y su aislamiento debido a los cambios sufridos al estar sometidos a temperaturas extremas por largos periodos y a los cambios bruscos en las mismas, además de los movimientos telúricos que se presentan constantemente en la región. Adicionalmente, el personal que se desplaza sobre el mismo para realizar maniobras de reparación o limpieza ocasiona la aparición de grietas o roturas que generan escurrimientos o goteras al interior de los inmuebles (Galindo, Pérez et al, 2007).

La estructura de protección de techos propuesta en este trabajo consiste en una plataforma en un nivel ligeramente superior al del techo, elaborada con materiales ligeros como lámina, madera o una combinación de estos materiales que podrían ser complementados con lonas tensadas en áreas no

transitables. La plataforma se sujeta sobre soportes longitudinales o transversales de madera para evitar los puentes térmicos. Se obtiene una sujeción firme al techo mediante la utilización de un sistema de anclaje perimetral sobre el concreto que evita que la estructura se mueva sin provocar daños ni afectar la construcción. Esta cubierta, además de económica es resistente estructuralmente a las acciones de maniobras sobre los techos y a los efectos del viento y humedad, así como duradera y de baja conductividad térmica y está diseñada de tal forma que pueda ser desmontable. Se realizó la evaluación técnica, reglamentaria, ecológica y económica para, en los casos factibles, proponerla como un elemento adicional para el ahorro de energía en la vivienda. Para ello se recopiló la información sobre estudios relacionados a la temática del tipo de vivienda, materiales de construcción utilizados así como los ofrecidos en la localidad y sus propiedades, consumos eléctricos, costos de electricidad asociados a climatización y datos meteorológicos. Se realizó un análisis de sensibilidad y riesgo para determinar la viabilidad de la aplicación del sistema, interpretando los resultados para poder establecer recomendaciones relacionadas al sistema de protección de techos de la vivienda para la región desértica de Baja California, extensivo a las regiones desérticas y áridas del mundo y a los sectores comercial e industrial. La utilidad de esta propuesta se observa en las siguientes ventajas: disminución del deterioro de los techos y del gasto para su mantenimiento, reducción de la facturación por energía eléctrica, ahorro en la economía familiar al conservar el mobiliario en buen estado, mayor confort para los ocupantes y un impacto ambiental benéfico por el ahorro de energía asociado (Galindo, Pérez et al, 2007).

## **2. METODOLOGÍA**

Se diseñaron y construyeron dos cabinas de madera para las pruebas, una con cubretecho y la otra sin este (ver Figuras 2, 3, 4 y 5). Se midió la temperatura de las superficies interna y externa para tres casos, caso A: cabina sin aislante, caso B: cabina con 2.54 cm (1") de espesor de aislante en muros y techos a base de placa de poliestireno expandido y, caso C: cabina con 5.08 cm (2") de aislante en muros y techos a base de placa de poliestireno expandido. En las tres etapas se tomaron lecturas de temperatura en horarios representativos durante los meses de mayo a agosto del 2006.

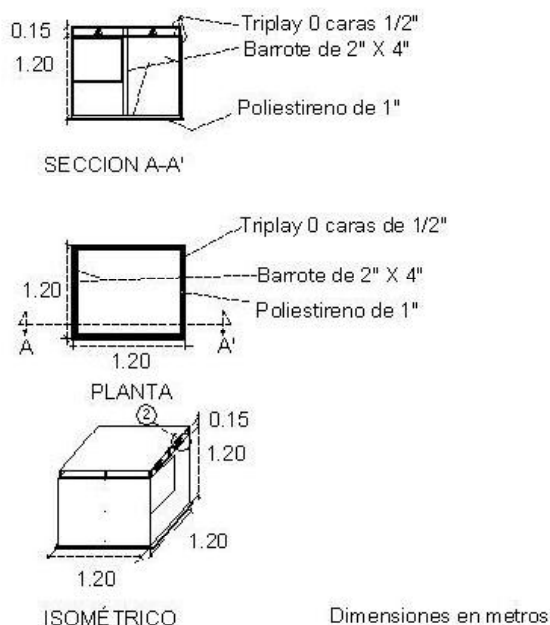


Figura 2. Diseño de las cabinas prototipo

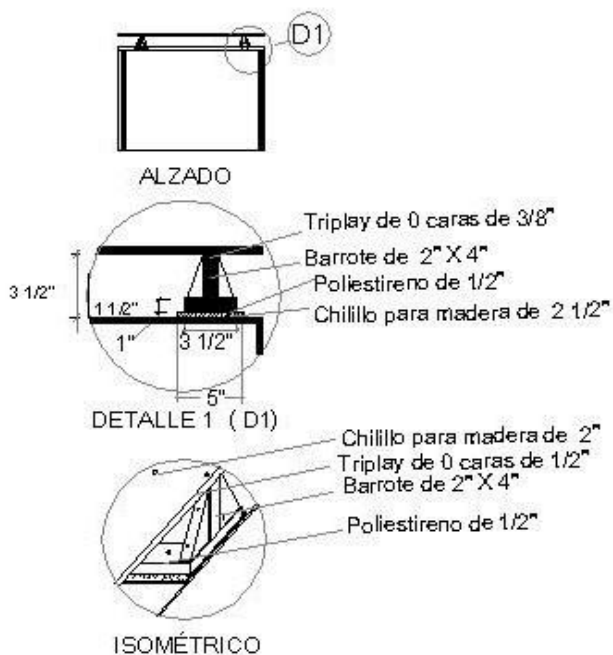


Figura 3. Armado de cubretechos para viviendas



Figura 4. Cabinas prototipo



Figura 5. Detalle del cubretecho experimental

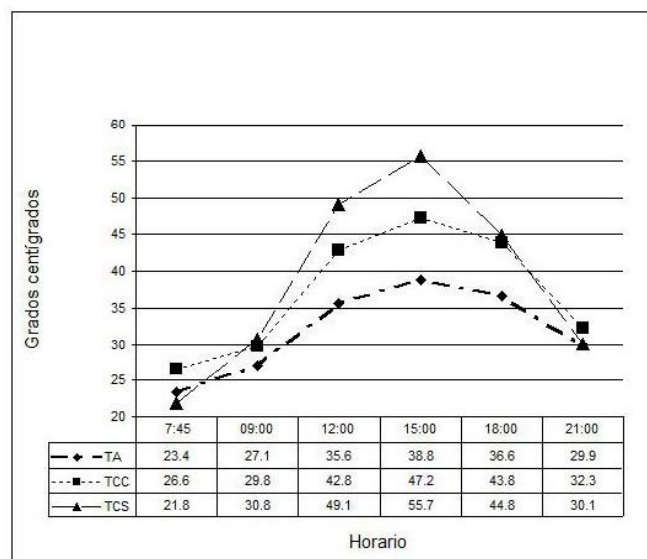
## 2.1. Análisis de temperaturas del ambiente interior en las cabinas de prueba

Como consecuencia de colocar cualquier dispositivo que impida la exposición directa de un objeto a los rayos solares la temperatura de dicho objeto tenderá a disminuir, principalmente en las horas de asoleamiento. Por ello se registraron las diferencias de temperaturas interiores entre las cabinas con cubretecho y sin este. En la Tabla 1 se presentan los promedios de temperaturas y sus respectiva desviación estándar a partir de registros tomados en el interior de las cabinas de prueba (en su centro geométrico), con y sin cubretecho a diferentes horas del día y en las tres etapas, utilizando cabinas sin aislamiento, cabinas con 2.54 cm de poliestireno en el techo y cabinas con 5.08 cm de poliestireno como aislante en los techos. Se observó que en casi en todos los casos la temperatura es menor en las cabinas con cubretecho y las mayores diferencias se presentan a las 15:00 hrs. para cabinas sin aislamiento y con aislamiento de 2.54 cm (1") y a las 9:00 hrs. para cabinas con aislamiento de 5.08 cm (2").

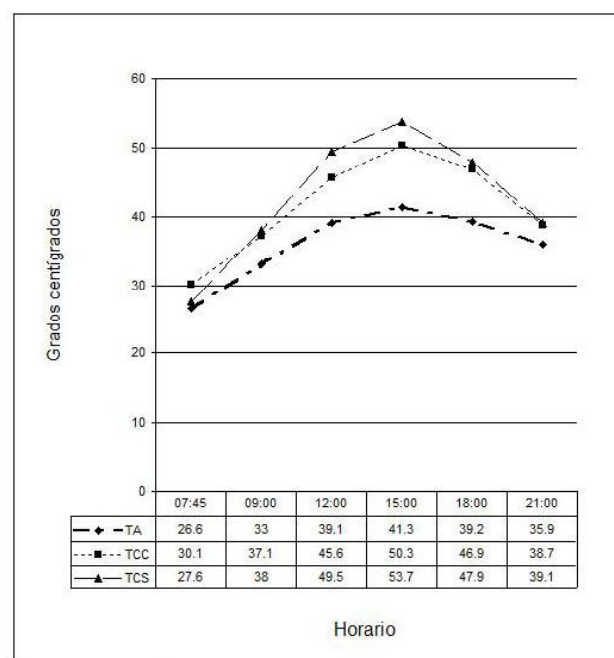
**Tabla 1.** Temperaturas en el interior de las cabinas de prueba

	Caso A		Caso B		Caso C	
	Cabinas sin aislamiento		Cabinas con aislamiento de poliestireno de 2.54 cm (1")		Cabinas con aislamiento de poliestireno de 5.08 cm (2")	
Fecha	16, 19, y 26 de mayo; 9 y 16 de junio del 2006		26, 28, y 30 de junio; 3 y 5 de julio del 2006		31 de julio; 1, 3, 7, 9 y 10 de agosto del 2006	
Hora	Sin cubretecho	Con Cubretecho	Sin cubretecho	Con cubretecho	Sin cubretecho	Con Cubretecho
Temperatura promedio en °C						
9:00	30.8	29.8	38.0	37.1	36.4	33.2
12:00	49.1	42.8	49.5	45.6	48.2	45.1
15:00	55.7	47.2	53.7	50.3	52.9	50.2
18:00	44.8	43.8	47.9	46.9	46.8	45.8
21:00	30.1	32.3	39.1	38.7	35.2	35.5
Máxima	55.7	47.2	53.7	50.3	52.9	50.2
Diferencia máxima	8.5		3.4		3.2	
Desviación estándar en °C						
9:00	7.5	6.0	2.6	3.0	2.1	2.6
12:00	3.7	2.3	3.0	2.4	3.2	1.9
15:00	2.4	1.2	5.4	3.4	3.4	2.4
18:00	2.5	3.0	7.1	6.4	4.0	3.6
21:00	0.5	0.8	3.0	6.5	3.7	3.2

En las Figuras 6, 7 y 8 se presentan las variaciones entre la temperatura ambiente y la temperatura interior de las dos cabinas de prueba, tomadas a diferentes horas del día, para cada uno de los tres casos.

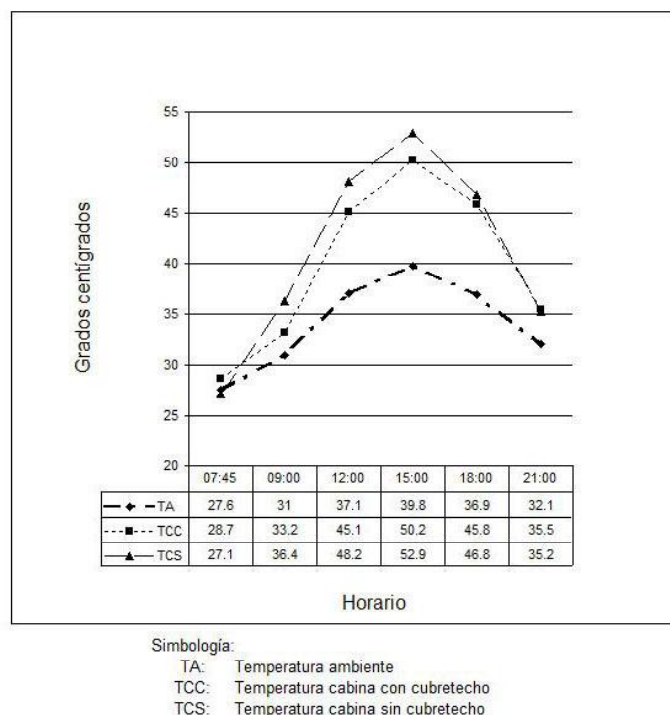


Simbología:  
 TA: Temperatura ambiente  
 TCC: Temperatura cabina con cubretecho  
 TCS: Temperatura cabina sin cubretecho

**Figura 6.** Registro de temperaturas para el caso A

Simbología:  
 TA: Temperatura ambiente  
 TCC: Temperatura cabina con cubretecho  
 TCS: Temperatura cabina sin cubretecho

**Figura 7.** Registro de temperaturas para el caso B



**Figura 8.** Registro de temperaturas para el caso C

En la Tabla 2 se presentan las temperaturas promedio más altas al interior de las cabinas de prueba (con cubretecho y sin cubretecho), por rangos bajo, medio y alto de temperaturas del aire a la sombra.

Con la información anterior se obtuvieron las horas-grado, el consumo eléctrico y el ahorro por utilización de aire acondicionado en los meses de mayo a agosto para temperaturas mayores a 25.6°C (78°F), que es la

temperatura límite de sensación de confort sugerida localmente (Galindo, 2007). Una vez obtenidos los datos anteriores se realizaron las evaluaciones técnica, legal, ecológica y económica.

## 2.2. Factibilidad técnica del proyecto

La construcción de un cubretecho no implica ningún problema técnico para su realización ya que el montaje de los elementos que lo conforman es de fácil aplicación y cualquier persona que trabaje la carpintería y sepa interpretar los esquemas del diseño podrá ejecutar el trabajo que se requiere, por lo tanto la propuesta es técnicamente factible.

## 2.3. Factibilidad legal

En el aspecto legal no existen factores que restrinjan la construcción del cubretecho dado que se encuentra especificado dentro de las normas y reglamento de construcción vigente que permite la protección de los techos con los diferentes materiales existentes en el mercado regional. Dicha reglamentación y normas están contenidas en la Ley de Edificaciones del estado de Baja California (Gobierno del Estado de Baja California, 1994), el Reglamento de Edificaciones para el Municipio de Mexicali (Gobierno del Estado de Baja California, 1998) y las normas de construcción para el ahorro y uso eficiente de la energía en la vivienda de Mexicali (Pérez, Campbell y Amado, 2003). Por lo tanto la propuesta es legalmente factible.

**Tabla 2.** Temperaturas máximas en el interior de las cabinas de prueba

Rango de temperatura del aire a la sombra	Bajo 29°C a 36°C	Medio 36°C a 39°C	Alto 39°C a 45°C
Fecha	2, 5, 9 y 23 de mayo del 2006	16, 19, y 26 de mayo y 16 de junio del 2006	2, 6 y 13 de junio del 2006
<b>Temperatura máxima promedio por rangos en °C</b>			
Cabina sin cubretecho	47.9	53.5	60.7
Cabina con cubretecho	41.5	46.9	53.5
<b>Diferencia</b>	<b>6.4</b>	<b>6.6</b>	<b>7.2</b>
<b>Desviación estándar de la temperatura máxima por rangos en °C</b>			
Cabina sin cubretecho	4.5	6.0	5.2
Cabina con cubretecho	1.8	1.7	4.8

## **2.4. Factibilidad organizacional**

La magnitud de la propuesta desarrollada en el proyecto, permite fácilmente organizar la administración de la obra que se requiere para el montaje del cubretecho, aún considerando que se aplicara en serie en diferentes conjuntos habitacionales, centros comerciales o parques industriales, ya que estaría sujeto a la administración previamente establecida por cada fraccionador o contratista que interviniera en cada caso. Por lo que se puede decir que la propuesta es administrativamente factible.

## **2.5. Factibilidad ecológica**

El objetivo de esta propuesta es el ahorro energético, la implementación de los cubretechos en diferentes tipos de edificaciones conlleva al ahorro de energía eléctrica, por consiguiente, a un menor requerimiento de combustible para la generación y en menor emisión de contaminantes, por lo tanto, la propuesta es ecológicamente factible.

## **2.6. Factibilidad económica**

La evaluación económica se realizó considerando los costos de inversión inicial, los ahorros anuales por consumo de energía eléctrica a un plazo de 20 años, la inflación, el mantenimiento, el beneficio anual al impermeabilizante y el valor de rescate, tomándose como base viviendas de 50 m<sup>2</sup> y de 80 m<sup>2</sup>, se encontró que la propuesta económicamente factible es la de aplicar cubretecho en viviendas no aisladas de 80 m<sup>2</sup> en adelante.

Se evaluaron los 4 casos siguientes, todos considerando equipo de aire acondicionado con una Relación de Eficiencia Energética Estacional de 10 (REEE = 10).  
Caso 1: Vivienda de 50 m<sup>2</sup>, muros de bloque de concreto sin aislamiento, techo de concreto sin aislamiento.  
Caso 2: Vivienda de 50 m<sup>2</sup>, aislada con poliestireno; 2.54 cm (1") en muros de bloque de concreto y 5.08 cm (2") en techo de concreto.

Caso 3: Vivienda de 80 m<sup>2</sup>, muros de bloque de concreto sin aislamiento, techo de concreto sin aislamiento.  
Caso 4: Vivienda de 80 m<sup>2</sup>, aislada con poliestireno; 2.54 cm (1") en muros de bloque de concreto y 5.08 cm (2") en techo de concreto.

De acuerdo a la evaluación económica realizada se

encontraron pérdidas en los casos 1, 2 y 4 y un ligero ahorro anual de \$337.55 (Pesos mexicanos, calculado al 2007) en el caso 3 que corresponde a la vivienda de 80 m<sup>2</sup>, sin aislamiento. Por lo tanto la única propuesta económicamente factible es la de aplicar cubretecho en viviendas no aisladas de 80 m<sup>2</sup> en adelante.

La disminución en el consumo de energía eléctrica repercute en una reducción de la necesidad de producción de kWh, con el consecuente beneficio al medio ambiente. Además del ahorro de energía eléctrica se tiene la ventaja de no tener que realizar reparaciones al aislante, al impermeabilizante o al interior de las viviendas ni la reposición de muebles que puedan resultar dañados por goteras o escurrimientos. De esta propuesta se deriva también la capacidad de proporcionar confort y beneficios a la salud de los ocupantes de la vivienda.

## **3. CONCLUSIONES**

Se observa claramente una disminución en las temperaturas cuando se implementa el cubrimiento del área del techo de las viviendas. Se determina el sistema de reforzamiento y protección del aislamiento e impermeabilización de techos, mostrando el diseño en forma gráfica (Figura 3), así como el procedimiento de construcción e indicando en que casos es viable. De acuerdo a la evaluación técnica, legal, organizacional, ecológica y económica realizada, la propuesta de aplicar cubretecho a las viviendas es factible sólo para los casos en donde no se cuenta con aislamiento y con área de por lo menos 80 m<sup>2</sup>. Es importante considerar que cuando se cuenta con una vivienda de por lo menos 80 m<sup>2</sup> sin aislamiento se conoce que la alternativa económica ampliamente factible es la de aplicar aislamiento. Por lo tanto la utilización de cubretecho en las viviendas es una alternativa de ahorro energético que pudiera aplicarse en los casos en los que existan dificultades de aislamiento o en instalaciones provisionales. Así mismo, en todos los casos, se tiene la ventaja de la disminución en el consumo de energía eléctrica con la consecuente reducción en la emisión de contaminantes y el ahorro que representa el no tener que reparar la impermeabilización y el aislamiento por deterioro o reponer muebles que resulten dañados por goteras o escurrimientos. Es posible ampliar el rango de factibilidad al rediseñar el cubretecho, utilizando materiales de menor costo sin escatimar durabilidad, resistencia y estética, además del abatimiento de costos

que tendría una construcción en serie, por lo que queda abierta la posibilidad de optimizar diseños para tener un prototipo de cubretecho factible con alcance a más viviendas.

Actualmente, una prioridad del ahorro energético como medida para el desarrollo nacional, impulsa acciones tanto para la generación como para el ahorro de energía, así como la formación de una cultura del ahorro de este insumo; con un sistema de protección a los techos se tiene menor asoleamiento y deterioro en viviendas, en consecuencia menor consumo de energía y mayor ahorro económico. De esta forma se cuenta con una alternativa bioclimática para la construcción o adaptación de los techos de las viviendas de Mexicali. Aunque el estudio se realizó para la vivienda de la región desértica de Baja California, es razonable que se pueda expandir su aplicación al sector comercial y a otras regiones que presentan características climáticas similares.

## REFERENCIAS

1. Galindo, D. M., 2007. Caracterización de sistemas constructivos y de climatización para optimizar el consumo energético en la vivienda del desierto. Tesis de Doctorado, UABC.
2. Galindo, D. M., Pérez T. C., Benites Z. J. y Leyva C. O., 2007. Evaluación de un sistema de Reforzamiento y protección del aislamiento e impermeabilización de techos. Reporte técnico. UABC.
3. Gobierno del Estado de Baja California, 1994. Ley de Edificaciones del Estado de Baja California. Publicada en el Periódico Oficial No. 20, Tomo CI.
4. Gobierno del Estado de Baja California, 1998. Reglamento de Edificaciones para el Municipio de Mexicali. Publicado en el Periódico Oficial No. 51, Tomo CV.
5. INEGI, II, 2005. Censo de Población y Vivienda
6. Pérez T. C., Campbell R. H. y Amado M. Ma. G., 2003. Normas de construcción para el ahorro y uso eficiente de la energía en la vivienda de Mexicali. Reporte técnico.
7. Schorr W. M. y Galindo, D. M y Pérez T. C. 2006. Estudios del desierto, Ed. Miguel Ángel Porrúa. México.