

Evaluación sanitaria de factores de riesgos físicos en viviendas Petrocasas bajo un cambio de cubierta

Health evaluation of physical risk factors in petrohouses after roof replacement

DrC. Carlos Barceló Pérez, Dra. Yamile González Sánchez, Dra. Raisa Guzmán Piñeiro, Lic. Juan Carlos Ramírez Sotolongo, Lic. Joan Calderón Baró, Lic. Leonardo Sao Ravelo

Instituto Nacional de Higiene Epidemiología y Microbiología (INHEM). La Habana, Cuba.

RESUMEN

Introducción: el problema de la vivienda tiene un alcance mundial. La solución del déficit cualitativo y cuantitativo de la vivienda en Cuba transita a través de diferentes soluciones. Varios asentamientos del país se han erigido con vivienda industrial prefabricada de cloruro de polivinil –PVC- conocidas por Petrocasas. Algunos estudios reportan estrés térmico en estas viviendas, vinculado a débil ventilación y calentamiento de cierres expuestos al sol.

Objetivo: realizar una evaluación de salud ambiental en factores de riesgos físicos en el ambiente interior de las viviendas relativo a la intemperie, tras un cambio del material de cubierta.

Método: se plantea un estudio experimental evaluativo de factores de riesgos físicos en el ambiente interior de las viviendas petrocasas a partir de una propuesta de modificación del material de la cubierta con la intención de reducir el estrés térmico de las mismas. Fueron edificadas con este propósito dos viviendas petrocasas con igual orientación de fachada principal y diferente cubierta; una fue sustituida por poliestireno expandido y la otra mantiene cubierta original (aluminio y papel de asfalto). Se evaluaron comparativamente factores de riesgos físicos: ruido, componente

magnético del campo electromagnético de baja frecuencia, iluminación natural, artificial, ventilación y, principalmente, microclima para valorar la eficacia del cambio introducido. La evaluación estadística se efectuó por descriptores, modelos de regresión y espectro de potencia bivariado con los paquetes estadísticos SPSS v. 17.0 y Statistica 8.0.

Resultados: la vivienda Petrocasa con cubierta de aluminio – asfalto presenta un clima interior algo más desfavorable al bienestar térmico que aquella de poliestireno; la ventilación en ambas resulta deficiente.

Conclusiones: el cambio de material de la cubierta ligera de la vivienda Petrocasa proporciona un clima interior algo más favorable al bienestar de sus residentes.

Palabras clave: vivienda, petrocasas, poliestireno expandido, ventilación

ABSTRACT

Introduction: the housing problem is global in scope. Solution to qualitative and quantitative housing deficit in Cuba has been addressed from various different perspectives. Several settlements in the country have been built with prefabricated industrial houses made of polyvinyl chloride (PVC). These are known as petrohouses. Some studies have reported thermal stress inside these houses, resulting from insufficient ventilation and the heating of roofs exposed to the sun.

Objective: carry out an environmental health evaluation of physical risk factors present in the indoor environment of petrohouses as compared with the outside environment after roof replacement.

Method: an experimental evaluative study was conducted of physical risk factors present in the indoor environment of petrohouses based on a proposal of modification of the roof material with the purpose of reducing thermal stress. For this purpose, two petrohouses were built with the same orientation of their main facade, but different roof material. One was roofed with expanded polystyrene, while the other retained its original roof (aluminum sheets and asphalt paper). The following physical risk factors were evaluated comparatively: noise, magnetic component of the low frequency electromagnetic field, natural and artificial lighting, ventilation, and mainly microclimate, to evaluate the efficacy of the change made. Statistical evaluation was conducted with descriptors, regression models and bivariate power spectrum, using the statistical software packages SPSS v. 17.0 and Statistica v. 8.0.

Results: indoor environment in the petrohouse with an aluminum-asphalt roof is somewhat more unfavorable in terms of thermal welfare than in the polystyrene-roofed house. Ventilation is deficient in both.

Conclusions: roof replacement in petrohouses provides an indoor environment somewhat more favorable to the welfare of dwellers.

Keywords: house, petrohouses, expanded polystyrene, ventilation.

INTRODUCCIÓN

Se entiende por vivienda la creación de ambientes para el hombre y la familia, proporcionando abrigo, posibilidad de vida en común y formación básica del individuo, como miembro de una sociedad.¹ La vivienda es considerada como un conjunto de espacios de facilitación de funciones y una interfase con el intemperismo físico y el peligro social. Cuando la vivienda no cumple los objetivos para los que se diseña, se podrían esperar posibles daños a la salud y bienestar de las personas que la habitan. Así pudiera verse comprometida. Su capacidad para cumplir el interés de satisfacer demandas elementales fisiológicas, psicológicas y sociales. Ello puede estar condicionado por el llamado *estado de la vivienda*. La vivienda erigida con materiales improvisados y con dificultades de acceso a las redes técnicas y servicios públicos, sin sujeción a normas técnicas de seguridad y confort, se la podría considerar precaria.

La solución del problema de los déficits cuali-cuantitativos de la vivienda en Cuba transita a través de diferentes vías, que incluyen la iniciativa local.²

Hoy se discute ampliamente sobre la salubridad de los materiales de construcción. Algunos, como el asbesto, revisten peligro por su posible participación en la etiología del cáncer del pulmón. Diversos materiales de construcción suponen algunos riesgos para la salud.³ El material plástico resulta particularmente controversial por sus aditivos, los residuos⁴ y dificultad de biodegradación.

El uso del plástico en la vivienda se ha desarrollado en cierta medida en Cuba. El caso de la llamada Petrocasa, producida por la industria Pequiven de Venezuela, consiste de una vivienda de concreto revestida de PVC con vigas de acero, cerámica, y sin bloque en su estructura.⁵ Ellas están construidas con una mezcla polimérica a base de Policloruro de Vinilo (PVC).⁶ Los accesorios como ventanas, puertas y un techo con PVC pueden tener un acabado que simula la madera.⁷ El PVC se considera el material adecuado para este proyecto porque ofrece ventajas significativas frente a materiales tradicionales como la madera y el metal.³ En su forma natural, el PVC es de color blanco; no obstante, se puede teñir en el proceso de producción y lograr colores diferentes, aunque inicialmente se conservará así para darle una identidad a las viviendas y economizar su costo. Estas viviendas pueden pintarse del color que se desee con pinturas de caucho normal, instalarle rejas a las ventanas, así como pegarles tablilla, piedra y cerámica. El techo puede ser de PVC en forma de tablillas de machihembrado coloreadas para simular madera.⁵ Los techos ligeros adoptados en Cuba para ellas se producen de laminados de aluminio recubierto de papel asfalto.

El PVC es utilizado en otros sistemas constructivos para viviendas, usados en el país, como el Royal -de tecnología canadiense-, entre otros, aprovechando que es un material liviano, de fácil transportación, y bajo costo de mantenimiento en su vida útil.⁶

En las petrocasas los paneles de PVC se montan sobre una balsa de hormigón armado y luego se rellenan también con hormigón, dejando vacíos aquellos paneles en cuyo interior van las instalaciones hidráulicas y eléctricas.⁶ En la ciudad de Cienfuegos y otros asentamientos del país se han construido petrocasas con cubierta de lámina de aluminio revestida de papel asfalto por ambas caras, como es el caso del asentamiento Simón Bolívar compuesto por 100 viviendas en la provincia de Cienfuegos.⁸ A estas cubiertas se les denominará originales. Se considera que el sistema soterrado de energía eléctrica y comunicaciones las hace invulnerables.⁶ El PVC utilizado para la

edificación de las petrocasas compone perfiles de policloruro de vinilo (PVC) con ausencia total de emisiones de sustancias cancerígenas, según se ha dicho de acuerdo con el reporte de los expertos alemanes que refrendaron la inocuidad de los componentes del sistema constructivo venezolano Petrocasa y la ausencia del monómero tóxico monocloruro de vinilo en el proceso.⁹ Organizaciones ambientalistas como Greenpeace plantean como controversial el uso de elementos plásticos en la vivienda. Estudios de factores de riesgos físicos han reportado estrés térmico en estas viviendas, lo que está vinculado a una débil ventilación y calentamiento de envolventes y cubiertas expuestas a la insolación diaria ⁽¹⁰⁾ El objetivo de la presente investigación es realizar una evaluación sanitaria de factores de riesgos físicos en el ambiente interior y exterior de las petrocasas considerando la propuesta de modificación del material de la cubierta con el propósito de reducir el estrés térmico inducido por las mismas. La alternativa estudiada consiste en sustituir los materiales de techos por poliestireno expandido (vivienda experimental).

MÉTODOS

Se realizó un estudio experimental para evaluar el mejoramiento del bienestar térmico en la vivienda Petrocasa derivado de una acción constructiva. Para ello se edificaron dos viviendas Petrocasas con igual orientación de fachada principal (Sur), donde la cubierta de una de ellas ha sido sustituida por poliestireno expandido (experimental), en tanto que la otra mantiene cubierta original (aluminio y papel de asfalto) (original). Se evaluó comparativamente un conjunto de factores de riesgos físicos de tales viviendas para valorar la eficacia del cambio introducido. Se efectuó una valoración sanitaria del microclima (relativo a intemperie), la ventilación, la iluminación, el campo electromagnético de baja frecuencia y el ruido durante una semana de la estación seca del año 2011.

Ruido

La inmisión del sonido en su carácter de ruido se valoró con mediciones comparativas (dentro – fuera) de nivel sonoro ponderado A por frecuencia y valor eficaz F (125 ms) a los fines de efectuar una evaluación sanitaria del sonido y estimar la penetración a la edificación evaluando el nivel sonoro medio L_{eq} (nivel equivalente continuo del ruido fluctuante) con parámetro de equivalencia $q: 3$, lo que equivale a la media por energía. También se midió el mínimo L_{min} y máximo L_{max} horarios en la vigilia, de manera que a las mediciones les resultaría aplicable el criterio sanitario de la norma cubana (NC 26 2007)⁽¹¹⁾. Se efectuó así un doble juego de mediciones en horario de la mañana y la tarde de acuerdo a la norma NC :26 (2007)⁽¹¹⁾. Se utilizaron medidores de nivel sonoro clase 1 calibrados, con incertidumbre inferior a 1 dB(spl). Tales resultan los sonómetros BK-2230 y Bruel&Kjaer 2250 Light con micrófono prepolarizado de 0,5 " tipo 1 Falcon. La verificación de calibración se efectuó con el pistófono SPER Scientific 840031. Se efectuaron mediciones en las dos viviendas Petrocasas de cubiertas diferenciadas, a las que resulta aplicable la norma en el rubro de sonido suburbano en área estable y horario de vigilia. En horas nocturnas no se identificaron fuentes de ruido que ameriten su evaluación en el período del sueño de los residentes.

Componente magnético del campo electromagnético de baja frecuencia (ELF)

Se evaluó el componente magnético del campo ELF, mediante mediciones de la intensidad de campo (mG) en cada local de las viviendas estudiadas; se registraron los valores mínimos, modales y de pico en dos situaciones: no consumo de electricidad y con equipamiento eléctrico conectado. Para ello se utilizó un gausímetro calibrado FW Bell 4090, con incertidumbre de la medición no superior a 0,1 mG. Las mediciones se efectuaron por duplicado en cada situación con rotación coplanar de la antena según un hemiplano horizontal a una altura de 1 m del suelo. Los resultados se compararon con el valor guía OMS de 8 mG

I Iluminación natural

Se midió la iluminación absoluta y con ello se calculó el coeficiente de iluminación natural normalizado a los fines de describir el clima luminoso natural en los distintos locales de las viviendas. Se efectuaron mediciones en todos los locales de las viviendas en el plano convencional ($h = 0,8$ m) y simultáneamente en el exterior al amanecer y anochecer con valores exteriores de luz difusa no superiores a 10000 Lux (una hora luego de la salida y antes de la puesta del sol).

I Iluminación artificial

Se evaluó la iluminación absoluta en todos los locales de la vivienda en horas nocturnas sobre el plano convencional ($h = 0,8$ m) partiendo del alumbrado como fuente. Las mediciones se efectuaron en dos días diferentes en cada una de las viviendas para reducir sesgos. Se contrastaron los resultados de las mediciones contra valores sanitarios de referencia de acuerdo a la norma ramal NRMCO05, 1985¹² y los valores límites por defecto del clima luminoso residencial según la norma NC 19-01-11.¹³

Se utilizaron los luxómetros Yu 120-10116 para mediciones exteriores y el SPER Scientific 840022 en interiores, ambos calibrados con incertidumbres inferiores al 10%.

Microclima

Se efectuaron, en el transcurso de una semana, mediciones simultáneas diarias de microclima y ventilación en las dos viviendas Pequiven de cubierta diferenciada (original y poliestireno expandido) obteniéndose los contrastes de temperatura, humedad relativa y viento (interior – exterior), así como en la intemperie adyacente, temperatura de cubiertas y envolventes, en todos los locales de las viviendas estudiadas en los siguientes horarios: -Período 1: 07-10 horas -Período 2: 11-14 horas -Período 3: 14-16 horas -Período 4: 17-19 horas. Los períodos 1 y 4 reflejan condiciones de poco caldeamiento, en tanto los 2 y 3 de caldeamiento, siguiendo la trayectoria aparente del sol. Las viviendas no contaban con quiebrasoles, ni sombras naturales (vegetación) proyectadas.

Se efectuó un registro continuo de temperatura y humedad relativa en la habitación matrimonial y en la habitación a la sala en cada vivienda; adicionalmente se instaló un higrómetro en punto exterior para reflejar las condiciones de intemperismo. Los registros fueron revisados diariamente y reinicializados cuando no se ajustaron sus estándares de operación.

La ventilación fue calculada por los intercambios horarios de aire a punto de partida de la penetración desde los vanos exteriores a los locales de la vivienda. Los locales fueron dimensionados y los recambios de aire se estimaron por el cálculo del flujo de aire en los vanos a barlovento, despreciando la compresibilidad.

Se utilizaron higrómetrografos Fisher, Dataloggers Ohm 2003 y termómetros laser También se midió la temperatura Vernon y la humedad natural, calculándose índices bioclimáticos. La evaluación estadística de los resultados se efectuó con descriptores estadísticos, gráficos y programas de análisis que incluyen regresión y espectro de potencia con los paquetes estadísticos SPSS v. 17.0 y Statistica 8.0.

RESULTADOS

Las viviendas Petrocasas con soluciones de cubierta de aluminio y asfalto (original) y poliestireno expandido (experimental) fueron edificadas colindantes en el poblado de Los Palacios, Pinar del Río, con orientación de fachada principal al sur, lo que haría relativamente comparables las magnitudes de los factores de riesgo físico que atañen a ambas, de no existir cambios de material constructivo.

Microclima

Evaluación sincrónica en el interior de la vivienda y en el exterior (intemperismo).

En el período diurno, la temperatura seca del aire interior de la vivienda Petrocasa con cubierta de poliestireno muestra valores sincrónicos diurnos de moda y mediana congruentes con el hecho de que la temperatura exterior resulta algo más baja que la interior; en cuantiles elevados el aire interior resulta también más cálido que el exterior. La temperatura seca del aire interior de la vivienda Petrocasa original muestra moda y mediana algo más cálida que el exterior, también en percentiles extremos el aire interior resulta más cálido que el exterior. Ello sugiere que esta vivienda es más caliente que la intemperie. De otra parte, la humedad relativa del aire es algo mayor dentro de la vivienda respecto al exterior y el cociente de la velocidad del viento interior sobre el exterior es sensiblemente pequeño. La temperatura del techo y paredes presenta valores mayores que los medidos bajo la cubierta de poliestireno, La vivienda experimental muestra un algo más favorable contraste de temperatura respecto a la cubierta original, que en mediana alcanza 0.7 grados Centígrados.

En la [figura 1](#) se aprecia, según los rangos percentiles 10 – 90 y 25 - 75 que aunque la vivienda Petrocasa con ambas soluciones de cubierta presenta débiles contrastes de temperatura seca con el exterior, la cubierta de poliestireno ofrece valores ligeramente más frescos que la cubierta original, lo cual es favorable a la sugerencia del cambio de material de cubierta.

Los intervalos de confianza de la media de temperatura seca según hora y local de la vivienda experimental, sugieren que la sala, la habitación matrimonial y su baño adosado, resultan alrededor de 1 °C más cálidos que la temperatura de intemperie.

En el caso de la vivienda original se aprecia el mismo comportamiento de la diferencia de la temperatura con la intemperie pero ésta alcanza hasta unos 2 °C de diferencia en el periodo de mayor contraste en la mañana.

El contraste de temperatura del interior a la intemperie es más acusado en el período de las 7 a las 10 am con el uso de cubierta de poliestireno en el lapso estudiado de la estación seca del 2011. En el caso de la vivienda con cubierta original, el contraste de temperatura es algo más acusado también entre las 5 y 7 pm en el mismo período del año, donde el aire interior de la vivienda es algo más cálido que su entorno.

En cuanto a la humedad relativa del aire, ambas soluciones de cubierta se vinculan a humedades más altas dentro de la vivienda en relación al exterior, pero la vivienda con cubierta de poliestireno es algo más húmeda que la de cubierta original, según se aprecia en la [figura 2](#).

La razón de la velocidad del viento interior - exterior es virtualmente nula en tendencia central, por lo que aparentemente la solución de cubierta no está condicionando el movimiento horizontal interior del aire en la vivienda. La dirección del viento fue del Nordeste en todo el período de estudio, correspondiéndose al paso de los anticiclones migratorios del período invernal.

En cuanto a las temperaturas inferiores de la cubierta, según se aprecia en la [figura 3](#), ellas son más calientes en la cubierta original en relación a la cubierta de poliestireno de la vivienda Petrocasa. La temperatura de cubierta es de unos 5° C más baja en solución de poliestireno respecto a la cubierta original en horas de caldeoamiento. En cuanto a las envolventes, se aprecia que la vivienda original muestra temperaturas de paredes algo más calientes que las que corresponden a la solución de poliestireno, las paredes resultan 1 °C más frescas en tendencia central bajo techo de poliestireno.

El contraste de humedad "interior- exterior" es más acentuado en el período de las 2 a las 4 pm en la vivienda experimental. También en la vivienda original la humedad relativa interior es más agudamente diferenciado de la exterior en el período de 2 a 4 pm. Con la cubierta de poliestireno la vivienda es más húmeda que su entorno, en horas de la tarde. La sala, la habitación matrimonial y el portal, en la tarde resultan los locales más húmedos en relación a la intemperie. Con cubierta original la vivienda es más húmeda en horas del mediodía a la tarde. Los locales más húmedos en relación a la intemperie resultan los mismos indicados para la vivienda experimental. En general el contraste de la humedad se incrementa de la mañana a la tarde.

En el curso del período diurno estudiado, los contrastes sincrónicos del cociente del viento exterior con la celeridad del movimiento horizontal del aire en la vivienda experimental incrementan su rango en horas de la tarde. En tendencia central, la razón de la velocidad del viento "dentro – fuera" resulta muy pequeño. Bajo la cubierta original el cociente de la velocidad del viento "dentro – fuera", en tendencia central, también se mantiene próximo a cero.

La temperatura del borde inferior de la cubierta de poliestireno de la vivienda Petrocasa es más alta en el período de 2 a 4 pm. En la vivienda original, las temperaturas del borde inferior de la cubierta también son más elevadas en el mismo período de 2 a 4 pm, aunque en los diferentes períodos del día las temperaturas de cubierta en la vivienda original fueron más altas de modo unánime respecto a la experimental.

Advección

La velocidad del movimiento interior del aire en la vivienda Petrocasa, para ambos tipos de cubierta es predominantemente nula en el curso del día. La ventilación de la vivienda Petrocasa con cubierta de poliestireno se aprecia más connotada, en el período de 11 a 13 horas con mayor número de recambios de aire, aunque en general resulta insuficiente en el curso del día en relación al valor recomendado de 1,5 recambios/hora.^{14,15} Análogo comportamiento de la ventilación pudiera anotarse para la vivienda con solución de cubierta original, aunque la dispersión es mayor en el período de las 2 a las 4 pm. Acá tampoco se satisface en tendencia central el valor de intercambio mínimo del aire.

Atendiendo a los locales individualizados de la vivienda experimental se aprecia que la ventilación natural es superior al resto de los locales en la habitación matrimonial, la cocina y la sala, con alrededor de un recambio por hora o menos. La sala es el único local que en tendencia central satisfaría el nivel de recambio mínimo aceptable. En el caso de la vivienda original la ventilación presenta similar comportamiento; según la tendencia central en la habitación matrimonial habría un recambio próximo a 1,5 por hora, lo que satisfaría el estándar de referencia.^{14,15} En ambos casos la velocidad del aire interior es débil; y parecida bajo ambas soluciones de cubierta. La ventilación natural renueva poco el aire interior de la vivienda en general y en las dos soluciones de cubierta resulta bastante análoga.

En la vivienda experimental, la razón de velocidades del viento interior al exterior resulta más acusada en el portal en horas tardías, lo que debe relacionarse a su apertura mayor al exterior. Bajo la solución de cubierta original en la vivienda Petrocasa, la mayor penetración del viento se produce igualmente en el portal en horas de mediodía y la tarde. En estas condiciones, la razón de la velocidad del viento es menor que la encontrada bajo la solución de poliestireno, pero en ello puede influir la dirección del viento, que se mantuvo del Nordeste, y la configuración del entorno de la vivienda. En general la penetración del viento no es marcada en los locales de la vivienda de cubierta original, lo que concuerda con lo encontrado bajo la cubierta de poliestireno.

En relación al factor calor de la capa inferior de la cubierta de poliestireno, las más altas temperaturas aparecen en el patio y portal durante el mediodía y la tarde. Mayormente las temperaturas de techo se encuentran en este período del año bajo 30°C. Bajo la cubierta original, la temperatura en algunos locales alcanza valores de cerca de 35°C de 2 a 4 pm, resultando estas temperaturas más altas que las medidas bajo poliestireno. Las envolventes de la vivienda experimental se mantienen mayormente bajo 28°C. En el caso de la vivienda original, se encuentran bajo 27°C.

Las paredes de la sala y el portal resultan las más cálidas en la tarde bajo la solución original de cubierta. En el caso de la cubierta de poliestireno, las temperaturas de las envolventes fueron mayores en la sala y la habitación matrimonial.

Relaciones de variables microclimáticas

En la vivienda experimental existe una relación funcional sincrónica lineal de la temperatura exterior sobre el contraste de la temperatura interior con la de intemperie, como muestra la [figura 4](#). A temperaturas exteriores mayores a 27°C, se aprecia que el contraste de temperatura sugiere valores menores dentro de la vivienda que en la intemperie.

En la vivienda original también existe una relación inversamente proporcional del contraste de temperatura interior- exterior sobre la exterior, como se ve en la [figura 5](#). A temperaturas mayores de 29°C, la temperatura interior resulta más fresca que la exterior.

El contraste de la humedad relativa también se relaciona con la humedad exterior sincrónica. Con altas humedades de intemperie, la humedad de la vivienda experimental es menor a la exterior. En el caso de la cubierta de poliestireno las humedades exteriores superiores a 69% conducen a decrementos de la diferencia entre las humedades del aire interior y exterior. Análogo comportamiento del contraste de la humedad relativa respecto a la humedad exterior se presenta en la vivienda de cubierta original, salvo que el efecto de desecamiento del aire interior respecto a altas humedades exteriores es más acusado en este caso de acuerdo a la regresión. Con humedad exterior sobre 50%, la humedad interior es inferior a la exterior.

Evaluación cronológica general de temperatura seca y humedad relativa de las viviendas y del intemperismo

Al analizar los valores de procesamiento de higrotermogramas, las temperaturas bajo las dos cubiertas resultan más altas que las exteriores, con más marcada diferencia en la habitación matrimonial y en horas de sol. Asimismo, bajo la cubierta original aparecen más altas temperaturas que bajo la de poliestireno. En horas de la madrugada, la cubierta original ofrece temperaturas secas del aire interior menores que bajo el poliestireno, lo que pudiera asociarse a irradiación de infrarrojo largo. La vivienda Petrocasa ofrece cierto efecto de atenuación de extremos, corroborado por el análisis de higrotermogramas, más marcado bajo la cubierta de poliestireno. En las primeras horas de la mañana la cubierta original ofrece temperaturas aun menores que las de intemperie –arrastré inercial de la carga calórica-, lo que sugiere que un efecto radiativo a la intemperie desde la envolvente y cubierta. Bajo la cubierta de poliestireno, se produciría una mejor amortiguación térmica respecto a la cubierta original de lámina de aluminio y asfalto.

Los valores extremos positivos (picos de temperatura) resultan más marcados en la habitación matrimonial de la vivienda original en el período estudiado; los valores mínimos corresponden a la habitación a la sala bajo cubierta original.

Según el procesamiento de los datos de higrotermogramas, los extremos de humedad (por exceso y por defecto) son mayores en la intemperie. En la obra construida, los valores extremos son más marcados en la habitación colindante a la sala bajo cubierta original.

Espectro de potencia

Temperatura seca en la habitación matrimonial.

Cubierta de poliestireno expandido

El autoespectro de la temperatura en la habitación matrimonial bajo cubierta de poliestireno revela un ciclo diario característico. En correspondencia con el espectro de fase, se observa un adelanto de la componente de periodicidad diaria en el aire interior de la habitación matrimonial respecto al exterior de 5 horas 26 minutos.

En el caso de la cubierta de poliestireno, y de acuerdo al espectro de fase, el componente de temperatura interior aportado por el ciclo de periodo diario retrasa a la temperatura exterior en 2 horas 40 minutos

Humedad relativa en la intemperie.

El autoespectro de humedad relativa del aire a la intemperie muestra la presencia de un ciclo diario de 24 horas. La humedad relativa interior de la habitación matrimonial bajo cubierta de poliestireno expandido retrasa la oscilación periódica diaria exterior de la humedad relativa en 2 horas 17 minutos.

Índices bioclimáticos

Se analizan la temperatura efectiva de Missenard –TEF¹⁶ y la temperatura de globo de bulbo húmedo –WBGT ¹⁷ como índices de bienestar térmico en la habitación matrimonial, la cocina y la habitación a la sala.

En la [figura 6](#) se aprecia que la temperatura efectiva calculada en las horas de sol en el curso del día resulta bastante similar en las viviendas Petrocasas bajo las dos soluciones de cubierta durante el periodo de estudio, con mayor contraste al amanecer.

En el caso del índice WBGT calculado para el mismo periodo se puede afirmar que la solución original de cubierta en la habitación a la sala resulta más desfavorable que en la cocina y la habitación matrimonial en cualesquiera de las soluciones de cubierta, pero el valor de referencia para metabolismo mínimo en sujetos no aclimatizados de 32°C mayormente no es superado, por lo que sanitariamente no puede afirmarse que hubo sensible estrés de calor en el periodo estudiado de la estación seca del 2011.

Componente magnético del campo electromagnético de muy baja frecuencia (ELF)

Tanto en la vivienda Petrocasa de cubierta de poliestireno expandido como en la vivienda de cubierta original se constata que los valores de tendencia central y extremos del componente magnético del campo ELF resultan muy bajos y alejados del valor guía de la OMS de máxima exposición de la población de 8 mG.¹⁸ Los valores tabulados comprenden los correspondientes al uso de electricidad en la vivienda y a su no uso. No obstante, en la vivienda Petrocasa de cubierta original los valores de la moda y la mediana (tendencia central) y extremos (percentiles 10 y 90) resultan más altos que en la vivienda bajo la cubierta de poliestireno. Analizando la conducta del

campo ELF por locales de la vivienda se observa que de forma unánime los valores medidos son muy bajos en todos ellos, tanto con utilización como sin utilización de electricidad en ambas viviendas.

Iluminación

La iluminación natural, expresada como coeficiente de iluminación natural normalizado, revela valores aceptables en las viviendas Petrocasas bajo las dos soluciones de cubierta.¹² El coeficiente más elevado se calculó para el patio y la habitación a la sala en la vivienda de cubierta original y en la habitación a la sala en el caso de la vivienda experimental. La iluminación natural resulta adecuada en ambas viviendas. El mobiliario y los colores del medio circundante pueden influir en el clima luminoso y esto pudiera condicionar los resultados reportados.

Los coeficientes de reflexión de paredes se mantienen en un rango aceptable, no así los de pisos, que resultan muy elevados en las viviendas de ambas soluciones de cubierta, lo cual es signo de posible deslumbramiento y pudiera ocasionar accidentes en la niñez, impedidos y adultos mayores. .

En cuanto a la iluminación artificial, se registraron valores por debajo del promedio de 100 luxes en diversos locales de ambas viviendas estudiadas. La iluminación artificial no satisface los valores mínimo permitidos en la sala (400 Lux), ni en las habitaciones (100 Lux), la cocina y el servicio sanitario (500 Lux).¹³ Probablemente, los valores reducidos de iluminación medidos en los locales de ambas viviendas se asocian a la baja potencia luminosa de las lámparas.

Ruido ambiental

El nivel sonoro resultó más reducido en la vivienda Petrocasa con solución de cubierta de poliestireno, aunque los niveles en general resultaron relativamente bajos en las dos viviendas, lo que satisface el valor límite de exposición para ruido suburbano en urbanización estable en horas del día (Leq: 49 dB(AF) 1 hora y Lmax 85 dB(AF) en interiores y 100 dB(AF) en exteriores); desde el punto de vista sanitario, la situación del ruido en estas viviendas resulta aceptable ya que no transgrede el NMA.¹¹ La atenuación de ruido cosmopolita de las habitaciones respecto al exterior es del orden de 6 dB(AF) Lmin 1 hora bajo la cubierta de poliestireno y de hasta 12 dB(AF) Lmin 1 hora bajo la cubierta original.

DISCUSIÓN

En el estudio de las viviendas Petrocasas de Cienfuegos se había concluido que los ambientes interiores eran más cálidos que la intemperie inmediata exterior. De otra parte, la humedad relativa del aire resultó algo mayor dentro de la vivienda respecto del exterior y la velocidad del viento interior fue sensiblemente reducida.¹⁰ En nuestro estudio, las temperaturas bajo las dos cubiertas resultan también más altas que las exteriores, siendo más marcada la diferencia en la vivienda Petrocasa con cubierta de aluminio – asfalto la cual presenta un clima interior algo más desfavorable en términos de bienestar térmico que aquella de poliestireno; sin embargo, la ventilación en ambas resulta deficiente.

En el estudio de tipología de viviendas FORSA existía calor moderado en las dos estaciones del año, siendo algo más cálidas las viviendas de edificios multifamiliares de 5 plantas; en ellas la temperatura y la humedad relativa exceden los valores de la intemperie,¹⁹ lo cual coincide con los resultados de las viviendas Petrocasas de Cienfuegos¹⁰ y con los obtenidos en nuestro estudio en Los Palacios.

En relación a exposición a campos electromagnéticos de baja frecuencia, nuestros resultados permiten afirmar que, a pesar de no transgredirse el valor guía OMS por ninguno de los valores medidos, el riesgo sería mayor bajo la cubierta original, principalmente cuando los aparatos eléctricos de la vivienda se encuentran activos. En las viviendas Petrocasas de solución de cubierta original en la ciudad de Cienfuegos, en el caso de igual orientación de fachada a las de Los Palacios, se hallaron valores algo mayores que los encontrados bajo la misma solución de cubierta en la estación seca (B_{max} 1,3 mG).¹⁰

En viviendas de igual orientación de fachada a las de Los Palacios, pero erigidas en Cienfuegos, se registraron altos coeficientes de iluminación natural.¹⁰ El criterio es que los pisos no deben exceder un 20% de reflexión y las paredes deben hallarse entre 40 y 80%.¹⁶ Ello concuerda con los hallazgos obtenidos en nuestro estudio para ambas soluciones de cubierta. En relación a la Iluminación artificial, nuestros resultados coinciden con los obtenidos en el asentamiento Simón Bolívar de Cienfuegos, resultando baja la iluminación artificial.

Los resultados relacionados al nivel sonoro, encontrados en nuestro estudio de Los Palacios, son comparables con los encontrados en las viviendas Petrocasas de Cienfuegos durante la estación seca del año.¹⁰

CONCLUSIONES

El cambio de material de la cubierta ligera de la vivienda Petrocasa a poliestireno expandido se asocia a un clima interior más favorable al bienestar. La iluminación natural, el nivel sonoro y el componente magnético se encuentran dentro de los límites sanitarios aceptados y no constituirían un riesgo potencial para la salud del residente.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. DeCS - Descriptores en Ciencias de la Salud[Internet]. São Paulo; Brasil: BIREME; c2014.vivienda [actualizado 01-2014; citado 01-2014]. Disponible en: <http://decs.bvs.br/cgi-bin/wxis1660.exe/decserver/>
2. Industria local de materiales de la construcción, una solución para la vivienda [Internet] Juventud Rebelde diario de la juventud cubana. edición digital. 1 marzo2009; Secc.Cuba[citado01-2014]. Disponible en: <http://www.juventudrebelde.cu/cuba/2009-03-01/industria-local-de-materiales-de-la-construccion-una-solucion-para-la-vivienda/>

3. Lippmann M. editor. Environmental toxicants. Human Exposures and Their Health Effects 3er.ed. New Jersey, USA: Wiley, Hoboken, 2009.
4. Romano D. Medio Ambiente, Construcción y PVC. Ciudades libres de PVC. Boletín CF+S [Internet]. 1998 abril [citado 01-2014]; (5). Disponible en: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n5/adrom.html>
5. Petrocasa transforma hidrocarburos en desarrollo social. [Internet] Abrebrechas Portal Sección viviendas. Caracas: Abrebrechas.com; c2012 [citado 01-2014]. Disponible en: http://www.abrebrecha.com/3864_Petrocasa-transforma-hidrocarburos-en-desarrollo-social-.html
6. Azze A. Evaluación de riesgos físicos en las petrocasas desde la óptica de la salud ambiental, Cienfuegos. [Tesis para optar por la Maestría de Salud Ambiental]. La Habana: Instituto Nacional de Higiene Epidemiología y Microbiología; 2009.
7. Welton C. El PVC saca a los pobres fuera de los tugurios en Venezuela [Internet]. Foro Andino del PVC. Sección Noticias. Colombia: RAPVC; c2008-2012 [actualizado junio 2010; citado 01-2014]. Disponible en: http://www.foroandinopvc.org.co/Noticias.php?lng=¬icias_id=17
8. Molina J. Raúl y Chávez inauguran petrocasas cienfuegueras [Internet]. Granma. 21 dic 2007; sección noticias Petrocaribe. [citado 01-2014]. Disponible en: <http://www.granma.cubaweb.cu/secciones/petrocaribe/de-la-iv-cumbre/art37.html>
9. Prensa latina. Petrocasas reciben certificado anticancerígeno [Internet]. Periódico Sierra Maestra. 3 agost. 2009; sección noticias [citado 01-2014]. Disponible en: <http://www.sierramaestra.cu/mundo/3670>
10. Guzmán Piñeiro R, Barceló Pérez C, Ramírez Sotolongo J, Calderón Baró J. Caracterización del ambiente físico en viviendas Petrocasas en el Asentamiento Simón Bolívar de Cienfuegos. Informe técnico.2011.La Habana: INHEM; 2011
11. NC-26-2007. Ruido en zonas habitables.Requisitos higiénicos sanitarios. La Habana: ONIN; 2007.
12. Ministerio de la Construcción. Norma Ramal NRMC 005/85.Illuminación natural. La Habana: MICONST; 1985
13. NC -19-01-11Requisitos generales higiénicos sanitarios. La Habana:La Habana: ONIN/MINSAP; 2007
14. Renovaciones de aire. Código técnico de la edificación CTE HS[Internet]. Construpedia. Construmática.com.Barcelona: Construmática Servicios de Información Profesional, SL; c2014 [citado 01-2014].Disponible en: http://www.construmatica.com/construpedia/Renovaciones_de_Aire
15. Soler and Palau. Manual práctico de Ventilación [Internet]. Barcelona: S&P Sistemas de Ventilación SLU; 2012 [citado 01-2014]. Disponible en: <http://www.solerpalau.es/es-es/manuales-de-ventilacion/>

16. Evaluación de agentes ambientales en el interior de las viviendas. Informe técnico final. [Internet] Lima, Perú: UNI/FIA/LIHSI; 2009 [citado 01-2014]. Disponible en: http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsapi/fulltext/aire_uni.pdf

17. Wet Bulb Globe Temperature Index. Health and Safety Executive. Guidance[Internet]. Londres: Health and Safety Executive; c 2006-2012 [updated: 2011-5-17; cited 2014-01]. Available from: <http://www.hse.gov.uk/temperature/heatstress/measuring/wetbulb.htm>

18. Repacholi MH, Greenebaum B. Interaction of static and extremely low frequency electric and magnetic fields with living systems: health effects and research needs . Bioelectromagnetics. [Internet] 1999 march[cited 01-2014]; 20(3): [about 5 p]. Available from: [http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/\(SICI\)1521-186X\(1999\)20:3%3C133::AID-BEM1%3E3.0.CO;2-O/abstract](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/(SICI)1521-186X(1999)20:3%3C133::AID-BEM1%3E3.0.CO;2-O/abstract)

19. Barceló Pérez C. Evaluación de riesgos físicos en la vivienda FORSA. Informe Técnico. La Habana: INHEM; 2012.

Recibido: 07 de febrero de 2014.

Aprobado: 1 de septiembre de 2014.

Dr.C. Carlos Barceló Pérez. Instituto Nacional de Higiene Epidemiología y Microbiología (INHEM). Email: barcelo@inhem.sld.cu