

MODIFICACIÓN DE LA REFLECTANCIA SOLAR EN LA ENVOLVENTE EDILICIA Y SU IMPACTO SOBRE LAS TEMPERATURAS INTERIORES.

N. Alchapar¹, E. Correa²

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda - Instituto Ciencias Humanas Sociales y Ambientales (LAHV INCIHUSA)
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas – CCT- Mendoza C.C.131 C.P. 5500 – Mendoza
Tel. 0261-5244300. e-mail: nalchapar@mendoza-conicet.gov.ar

Recibido 16/08/13, aceptado 29/09/13

RESUMEN: Incrementar la reflectancia solar de las superficies urbanas modifica las condiciones térmicas tanto en los espacios interiores como exteriores. La aplicación de “cool materials” resulta una estrategia de acondicionamiento viable y de bajo costo. Para cuantificar el impacto de ésta estrategia de acondicionamiento sobre las temperaturas interiores fueron simuladas dos configuraciones de vivienda social (cuadrada y lineal) con tres rangos de albedo en su envolvente. Los coeficientes de absorción ingresados al simulador corresponden a datos de catálogo de materiales locales obtenidos a través de ensayos experimentales. Los resultados de la simulación muestran que la tipología que ofrece más sensibilidad a las modificaciones del albedo es la cuadrada (diferencia térmica=4°C verano y 3°C invierno). Al comparar la eficiencia de la aplicación de esta estrategia respecto a la aislación en paredes con poliestireno de 5cm se observa que su beneficio es equivalente a la primera modificación de rango de albedo propuesta ($\Delta = 0.33$ a 0.57).

Palabras clave: propiedades ópticas, materiales de la envolvente, temperatura interior.

INTRODUCCION

El balance térmico de una ciudad está definido por las características ópticas de los materiales de la envolvente urbana. Reflectancia solar y emisividad son los parámetros ópticos más importantes de los materiales. Numerosos trabajos han estudiado el rendimiento térmico e impacto energético de materiales utilizados para la resolución de la envolvente edilicia, como una estrategia de acondicionamiento de bajo costo y gran factibilidad. (Levinson et al., 2007; Akbari et al, 1997; Bretz y Akbari, 1997; Levinson et al., 2005, Kai et al., 2010).

Las superficies con baja reflectancia solar o albedo absorben una mayor cantidad de energía solar incidente. La aplicación extendida de materiales con alto albedo y emitancia térmica denominados “cool materials” pueden reducir en un día de verano la temperatura urbana entre 1 a 2°C. (Akbari and Konopacki, 1998, Young, 1998, Pomerantz et al., 1999 and Akbari et al., 1999).

A escala edilicia el consumo de energía por refrigeración puede ser reducido significativamente mediante la limitación de la ganancia de calor solar de la envolvente, la cual depende de la intensidad con la que incide la radiación solar y de la capacidad de absorción (albedo) de la superficie externa. (Cheng et al, 2005)

Se ha demostrado en numerosos estudios experimentales y simulaciones que el uso de alta dotación albedo puede reducir considerablemente la temperatura del aire interior de edificios en particular, y a escala media, pueden disminuir las temperaturas ambientales urbanas, mitigando el efecto de isla de calor urbana. (Givoni, 1998; Taha et al, 1988, Akbari, 1997).

En el Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda, desde hace 10 años, se está trabajado intensamente sobre una línea de investigación para generar conocimiento en torno al desarrollo de estrategias de mitigación de la Isla de Calor Urbana -ICU. El fenómeno de ICU en nuestra ciudad -Mendoza, Argentina- (32°40' latitud S y 68°51' longitud oeste) es muy intenso, alcanzando niveles de 10°C en el periodo estival. (Correa et al., 2006).

Como existe un desarrollo incipiente del efecto de la problemática de ICU a escala edilicia se ha realizado la presente investigación. La hipótesis del estudio es que el uso de materiales denominados “frios” en la envolvente edilicia modifica las condiciones térmicas del espacio interior, tanto en verano cómo en invierno, sin embargo el grado de modificación no es independiente de la tipología edilicia y su condición de implantación. Por lo tanto, resulta necesario cuantificar en qué condiciones la aplicación de ésta estrategia de acondicionamiento es más eficiente.

METODOLOGÍA

Albedo de materiales de la envolvente edilicia

En el marco del desarrollo de la tesis Doctoral “Ambiente Urbano Sustentable. Estrategias de Mitigación de la Isla de Calor en Ciudades de Zonas Áridas. El Caso de los Materiales”, desde el año 2010 se han realizados numerosos ensayos en condiciones controladas para cuantificar las propiedades ópticas y comportamientos térmicos de materiales de la envolvente urbana de mayor difusión a nivel local. Con el fin de obtener indicadores respecto a su habilidad para reducir las temperaturas urbanas. La muestra analizada comprende 146 materiales presentes en la envolvente edilicia de uso frecuente y

¹ Becaria CONICET

² Investigadora CONICET

disponibles en el mercado local (tejas, revestimientos verticales, pinturas para fachadas, pavimentos peatonales). Los materiales evaluados fueron separados en tres rangos de acuerdo a su albedo. El impacto de la modificación del albedo de las distintas envolventes edilicias sobre la temperatura interior fue cuantificado mediante la simulación del comportamiento térmico de dos tipologías de viviendas sociales construidas en Mendoza.

El albedo (\hat{a}) de materiales se registró mediante un método variante de la norma ASTM-E-1918 propuesto por Akbari, 2008. Debido a que la norma ASTM E-1918 establece que sólo se puede utilizar cuando la muestra a estudiar posee una superficie mayor a 10 m², lo que la hace inconveniente y compleja de llevar a la práctica.

El método variante mide la reflectancia solar de un material sobre 1m² de superficie, mediante el uso de un piranómetro y un par de máscaras de color blanco y negro (Akbari y Levinson, 2008). Sin embargo, utilizar un sólo piranómetro, introduce incertidumbres adicionales asociados a la inversión de instrumento (Sailor, 2006). Por ésta razón, se ha optado por utilizar un sistema de dos piranómetros tipo Kipp & Zonen tipo CM3, el conjunto se llama albedómetro.

El albedómetro registra la radiación solar que se recibe sobre la superficie horizontal y la radiación solar reflejada. La reflectancia solar de cada material se determina por diferencia (Kipp & Zonen, 2012). El espectro de radiación cubierto por el instrumento es 285-2800 nm, y una irradiación solar máxima de 4000 W / m². Su sensibilidad nominal a 1,5 10⁻⁶ V / Wm². El tiempo de respuesta indicado (95%) es 18s. Los resultados han sido publicados en diversos trabajos: Correa et al., 2010; Alchapar et al., 2011; Alchapar et al., 2012a; 2012b, Alchapar et al., 2013. (ver tabla 1y 2).

Rangos de albedo.

Con el fin de evaluar el grado de impacto de los materiales reflectivos sobre las temperaturas interiores se simularon las tipologías seleccionadas con tres rangos de albedo:

Rango 1 (albedo promedio=0.33)

- Piso con $\hat{a} \leq 0.30$. ej. pavimentos peatonales cementicios (P27, P35, P07). (ver tabla 1.a)
- Pared con $\hat{a} \leq 0.35$. ej. revestimientos texturados acrílicos (SIP 40, SIP 21, SIP 15, SIP 12); revestimientos texturados cementicios (CW 64); y pinturas para exteriores (PIN 02, PIN 16). (ver tabla 1.c y 2.a, b).
- Techo con $\hat{a} \leq 0.40$. Tejas cementicias (T13, T12). (ver tabla 1.b)

Rango 2 (albedo promedio= 0.57)

- Piso con $\hat{a} \leq 0.55$. ej. pavimentos peatonales (P19, P33, P29, P32, P12, P05, P10, P22, P11, P23, P26, P02, P21, P31, P01, P15, P36, P03, P17, P28, P37, P38, P09, P14, P08, P16, P24, P04, P06, P20, P30, P18). (ver tabla 1.a)
- Pared con $\hat{a} \leq 0.55$. ej. revestimientos texturados acrílicos (SIP 16, SIP 31, SIP 13, SIP 39, SIP 32, SIP 28, SIP 05, SIP 37, SIP 08, SIP 23, SIP 36, SIP 24, SIP 04, SIP 29, SIP 07, SIP 35, SIP 38, SIP 11, SIP 06, SIP 14, SIP 20, SIP 30, SIP 19); revestimientos texturados cementicios CW 80, CW 72, CW 56, CW 63, CW 79, CW 48, CW 61, CW 45, CW 77, CW 71, CW 69, CW 44, CW 55, CW 68, CW 76, CW 52, CW 47). (ver tabla 2.a, b).
- Techo con $\hat{a} \leq 0.60$. ej. tejas (T05, T07, T06, T04, T11, T15, T16, T09, T10, T02). (ver tabla 1.b)

Rango 3 (albedo promedio= 0.73)

- Piso con $\hat{a} \leq 0.70$. ej. pavimentos peatonales (P13, P25, P34). (ver tabla 1.a)
- Pared con $\hat{a} \leq 0.80$. ej. revestimientos texturados acrílicos (SIP 22, SIP 18, SIP 03, SIP 27, SIP 17, SIP 09, SIP 10, SIP 01, SIP 34, SIP 02, SIP 33, SIP 26, SIP 25); revestimientos texturados cementicios (CW 53, CW 60, CW 46, CW 67, CW 59, CW 78, CW 75, CW 70, CW 54, CW 62, CW 66, CW 74, CW 43, CW 51, CW 58, CW 73, CW 42, CW 57, CW 50, CW 65, CW 41, CW 49); pinturas exteriores (PIN 08, PIN 01, PIN 11, PIN 12, PIN 09, PIN 10, PIN 03, PIN 06, PIN 04, PIN 07, PIN 14, PIN 05, PIN 15, PIN 13). (ver tabla 1.c y 2.a, b).
- Techo con $\hat{a} \leq 0.70$. (T14, T01, T03, T08). (ver tabla 1.b)

REV. PEATONALES	\hat{a}
P01 Cementicio circular abanico gris prensado-rústico	0.45
P02 Cementicio circular araña negro prensado-rústico	0.41
P03 Cementicio circular andalucía rojo prensado rústico	0.46
P04 Cementicio circular abanico rojo prensado-rústico	0.49
P05 Cementicio circular abanico negro prensado-rústico	0.38
P06 Cementicio-pétreo liso canto rodado gris lavado-texturado	0.49
P07 Cementicio recto cuadrado negro prensado-rústico	0.34

REV. PEATONALES	\hat{a}
P20 Cementicio recto cuadrado gris prensado-rústico	0.49
P21 Cementicio-pétreo circular andalucía verde jade pulido	0.43
P22 Cementicio-pétreo recto cuadrado negro con chispas crema pulido	0.38
P23 Cementicio-pétreo circular andalucía negro murcia pulido	0.39
P24 Cementicio-pétreo recto cuadrado bordeaux alicante pulido	0.48
P25 Cementicio-pétreo liso mosaico gris con multicolor pulido	0.59
P26 Cementicio-pétreo circular andalucía negro con multicolor pulido	0.39

TEJAS	\hat{a}
T01 Cerámica Colonial terracota natural	0.64
T02 Cerámica Francesa terracota natural	0.6
T03 Cerámica Francesa terracota esmaltada	0.64
T04 Cerámica Francesa negra brillante bicocción	0.5
T05 Cerámica Francesa negra brillante monococción	0.48
T06 Cerámica Francesa negra mate	0.49
T07 Cerámica Francesa negra mate	0.48

PINTURAS EXT.	\hat{a}
PIN 01 Pintura atérmica blanca	0.79
PIN 02 Pintura acrílica negra	0.30
PIN 03 Pintura impermeable blanca	0.81
PIN 04 Pintura impermeable blanca	0.82
PIN 05 Pintura impermeable blanca	0.83
PIN 06 Pintura impermeable blanca	0.81
PIN 07 Pintura impermeable blanca	0.82

P08	Cementicio circular araña gris prensado-rústico	0.48	P27	Cementicio circular andalucía negro prensado-rústico	0.33	T08	Cerámica Romana terracota esmaltada	0.67	PIN 08	Pintura impermeable blanca	0.78
P09	Cementicio circular araña rojo prensado-rústico	0.47	P28	Cementicio-pétreo recto cuadrado rojo con multicolor pulido	0.46	T09	Cerámica Romana terracota natural	0.58	PIN 09	Pintura impermeable blanca	0.8
P10	Cementicio-pétreo circular abanico negro murcia pulido	0.38	P29	Granítico liso mosaico negro murcia pulido	0.36	T10	Cerámica Romana terracota envejecida	0.58	PIN 10	Pintura impermeable blanca	0.8
P11	Cementicio-pétreo circular andalucía negro con chispas crema pulido	0.39	P30	Cementicio-pétreo recto cuadrado gris multicolor pulido	0.5	T11	Cementicia Colonial terracota natural	0.5	PIN 11	Pintura acrílica blanca	0.79
P12	Cementicio-pétreo recto cuadrado negro murcia pulido	0.37	P31	Granítico liso mosaico verde jade pulido	0.43	T12	Cementicia Francesa negro mate	0.44	PIN 12	Pintura acrílica blanca	0.79
P13	Cementicio-pétreo circular andalucía gris multicolor pulido	0.56	P32	Cementicio-pétreo recto cuadrado verde jade pulido	0.36	T13	Cementicia Francesa negra acrílica	0.4	PIN 13	Pintura acrílica blanca	0.84
P14	Cementicio recto diagonal amarillo prensado-rústico	0.47	P33	Cementicio recto cuadrado negro prensado-rústico	0.35	T14	Cementicia Francesa gris natural	0.63	PIN 14	Pintura impermeable blanca	0.82
P15	Cementicio liso mosaico rojo prensado-rústico	0.45	P34	Granítico liso mosaico travertino pulido	0.75	T15	Cementicia Colonial negra mate	0.53	PIN 15	Pintura impermeable blanca	0.83
P16	Cementicio-pétreo liso canto rodado multicolor lavado-texturado	0.48	P35	Cementicio-calcáreo recto dos panes negro pulido	0.33	T16	Cementicia Colonial terracota mate	0.57	PIN 16	Pintura impermeable terracota	0.45
P17	Cementicio liso estrella amarillo prensa-rústico	0.46	P36	Cementicio-calcáreo recto dos panes rojo pulido	0.45						
P18	Cementicio liso estrella gris prensado-rústico	0.51	P37	Cementicio-calcáreo recto dos panes amarillo pulido	0.46						
P19	Cementicio liso mosaico negro prensado-rústico	0.35	P38	Cementicio-calcáreo recto vainilla amarillo pulido	0.46						

Tabla 1. Albedo (\hat{a}) de a. Revestimientos peatonales; b. Tejas y c. Pinturas exteriores; con sus respectivos códigos asignados y denominaciones.

REV. FACHADAS ACRILICOS		\hat{a}	REV. FACHADAS ACRILICOS		\hat{a}	REV. FACHADAS CEMENTICIOS		\hat{a}	REV. FACHADAS CEMENTICIOS		\hat{a}
SIP 01	Rulato travertino fino blanco	0.65	SIP 21	Llaneado fino terracota	0.32	CW 41	Rulato texturado medio blanco	0.79	CW 61	Llaneado fino terracota	0.45
SIP 02	Rulato travertino fino marfil	0.68	SIP 22	Llaneado fino gris claro	0.56	CW 42	Rulato texturado medio marfil	0.71	CW 62	Llaneado fino gris claro	0.63
SIP 03	Rulato travertino fino piedra paris	0.58	SIP 23	Llaneado fino verde	0.41	CW 43	Rulato texturado medio piedra paris	0.68	CW 63	Llaneado fino verde	0.44
SIP 04	Rulato travertino fino piedra ocre	0.43	SIP 24	Llaneado fino gris oscuro	0.43	CW 44	Rulato texturado medio ocre	0.50	CW 64	Llaneado fino gris oscuro	0.32
SIP 05	Rulato travertino fino piedra terracota	0.39	SIP 25	Llaneado rustico blanco	0.79	CW 45	Rulato texturado medio terracota	0.46	CW 65	Llaneado rustico blanco	0.76
SIP 06	Rulato travertino fino piedra gris claro	0.49	SIP 26	Llaneado rustico marfil	0.74	CW 46	Rulato texturado medio gris claro	0.58	CW 66	Llaneado rustico marfil	0.66
SIP 07	Rulato travertino fino piedra verde	0.45	SIP 27	Llaneado rustico piedra paris	0.58	CW 47	Rulato texturado medio piedra paris	0.55	CW 67	Llaneado rustico piedra paris	0.59
SIP 08	Rulato travertino fino gris oscuro	0.40	SIP 28	Llaneado rustico ocre	0.39	CW 48	Rulato texturado medio gris oscuro	0.45	CW 68	Llaneado rustico ocre	0.51
SIP 09	Rulato travertino rustico blanco	0.61	SIP 29	Llaneado rustico terracota	0.43	CW 49	Travertino rustico medio blanco	0.83	CW 69	Llaneado rustico terracota	0.49
SIP 10	Rulato travertino rustico marfil	0.61	SIP 30	Llaneado rustico gris claro	0.50	CW 50	Travertino rustico medio blanco	0.75	CW 70	Llaneado rustico gris claro	0.62
SIP 11	Rulato travertino rustico piedra paris	0.48	SIP 31	Llaneado rustico verde	0.36	CW 51	Travertino rustico medio blanco	0.69	CW 71	Llaneado rustico verde	0.49

SIP 12	Rulato travertino rustico piedra ocre	0.33	SIP 32	Llaneado rustico gris oscuro	0.39	CW 52	Travertino rustico medio piedra paris	0.54	CW 72	Llaneado rustico gris oscuro	0.40
SIP 13	Rulato travertino rustico piedra terracota	0.37	SIP 33	Granitex medio blanco	0.73	CW 53	Travertino rustico medio terracota	0.56	CW 73	Granitex medio blanco	0.70
SIP 14	Rulato travertino rustico piedra gris claro	0.49	SIP 34	Granitex medio marfil	0.67	CW 54	Travertino rustico medio gris claro	0.62	CW 74	Granitex medio marfil	0.67
SIP 15	Rulato travertino rustico piedra verde	0.33	SIP 35	Granitex medio piedra paris	0.48	CW 55	Travertino rustico medio piedra paris	0.50	CW 75	Granitex medio piedra paris	0.61
SIP 16	Rulato travertino rustico gris oscuro	0.36	SIP 36	Granitex medio ocre	0.42	CW 56	Travertino rustico medio gris oscuro	0.40	CW 76	Granitex medio ocre	0.53
SIP 17	Llaneado fino blanco	0.61	SIP 37	Granitex medio terracota	0.40	CW 57	Llaneado fino blanco	0.72	CW 77	Granitex medio terracota	0.48
SIP 18	Llaneado fino marfil	0.58	SIP 38	Granitex medio gris claro	0.48	CW 58	Llaneado fino marfil	0.70	CW 78	Granitex medio gris claro	0.61
SIP 19	Llaneado fino piedra paris	0.53	SIP 39	Granitex medio verde	0.39	CW 59	Llaneado fino piedra paris	0.60	CW 79	Granitex medio verde	0.44
SIP 20	Llaneado fino ocre	0.50	SIP 40	Granitex medio gris oscuro	0.31	CW 60	Llaneado fino ocre	0.58	CW 80	Granitex medio gris oscuro	0.40

Tabla 2. Albedo (\hat{a}) de revestimientos texturados para fachadas peatonales de composición: a. Acrilica y b. Cementicia; con sus respectivos códigos asignados y denominaciones.

Selección de los casos de estudio. Descripción de tipologías edilicias.

Por sus configuraciones morfológicas se seleccionaron dos tipologías de vivienda social construidas en la provincia de Mendoza en el año 2007, bajo el Plan Federal de Viviendas (PFV). (Mitchell y Acosta, 2009).

Una tipología de planta cuadrada denominada "ALAS" y otra vivienda de esquema lineal "ALGARROBO". (Tabla 3)

INDICADORES	TIP. CUADRADA "ALAS"	TIP. LINEAL "ALGARROBO"
Sup (m2)	55.4	68.15
Área Envolvente (m2)	129	166
Volumen (m3)	146	164.4
FAEP ³	2.5	2.3
IC ⁴	89	77
Área Colectora (m2)	4.9	5.8

Tabla 3. Indicadores morfológicos para las tipologías cuadrada "Alas" y lineal "Algarrobo".

Según los indicadores de tabla 3 se observa que ambas tipologías son compactas debido a las dos alternativas poseen un IC - Índice de Compacidad- superior al 77%.

El diseño funcional de la vivienda de esquema cuadrado está compuesto por una zona diurna (estar/comedor) y el dormitorio principal orientado al norte. Hacia el sur se dispone la zona de servicios y el segundo dormitorio. La cubierta es liviana e inclinada a dos aguas (norte-sur) con una pendiente del 20%.

El esquema lineal posee cuatro locales, uno de uso diurno (estar/cocina), una zona de servicio y dos dormitorios. Todas las áreas se abren hacia el norte y niegan el sur. El estar/cocina también tiene una ventana hacia el oeste. La cubierta es inclinada con una pendiente hacia el norte de 36%.

Ambas tipologías están construidas con un sistema tradicional: estructura de hormigón armado, muros de 20 cm de espesor. La estructura de los techos inclinados es de madera con tirantes de pino de 8"x 6" cada 50 cm, machimbre de pino de 3/4", aislación térmica de lana de vidrio de 5cm y teja cerámica francesa. Las ventanas son las superficies colectoras de radiación solar directa. Sus carpinterías son metálicas, simple vidrio y 1 renovación hora. (Ver fig. 1).

Si bien la tecnología constructiva de las tipologías no satisface la normativa IRAM 11605:1996, los materiales ingresados al simulador corresponden a los utilizados en las viviendas sociales bajo el Plan Federal de Vivienda 2007 en la provincia de Mendoza.

³ FAEP. Factor área envolvente piso. Para este indicador el número 2 es el valor más eficiente, puesto que es el resultado que alcanza la semiesfera. (Estévez et. al, 1997).

⁴ IC. Índice de Compacidad. El valor óptimo de IC es de 100 (círculo), cuanto más se acerque el valor del edificio a 100, menores serán las pérdidas y los gastos térmicos. (Czajkowski y Gómez, 1994).

Simulación con SIMEDIF

Las simulaciones térmicas de las tipologías de vivienda se realizaron mediante el programa *SIMEDIF para Windows*, desarrollado en el INENCO, Instituto de Investigación en Energía No Convencional. Éste software es una herramienta de diseño y simulación del comportamiento térmico transitorio de edificios. (Flores Larsen y Lesino; 2000; 2001a; 2001b; Filipín et al., 2002). *SIMEDIF* permite determinar el comportamiento térmico del prototipo analizado y detectar problemas de confort, por sobrecalentamiento o bajas temperaturas.

Los datos necesarios para la simulación se pueden dividir en tres grupos: variables climáticas, variables geométricas y variables térmicas. (Estévez et al., 1994)

Variable Climática: Los datos climáticos fueron registrados con una estación fija ubicada el interior de un canal vial representativo de la ciudad de Mendoza. El canal vial es de 20m de ancho con una orientación de este-oeste. Es de baja densidad y uso residencial. (Geo referencia: 32°54'8"S 68°50'51"O).

En la estación de verano se tomaron dieciocho días de medición (7 al 24 de enero del 2010). Los valores climáticos ingresados en la simulación corresponden a una semana típica del período estival (17 al 23 de enero del 2010). Para la situación de invierno, se tomaron los registros de temperatura y radiación durante veinte días completos, desde el 22 de julio al 10 de agosto del 2010. Para el análisis se seleccionó un periodo comprendido entre el 25 de julio al 31 de agosto.

El programa necesita los datos meteorológicos externos de temperatura y radiación horarias. Los datos de temperatura se han obtenido a partir del promedio horario de los datos de las campañas con estaciones fijas. La radiación global horizontal ha sido tomada de la Estación Meteorológica del Centro Científico Tecnológico CCT-Mendoza – CONICET. Se ha utilizado la temperatura media diaria del mes de enero y julio para ingresar la temperatura inicial de cálculo. (Ruiz, 2013). (Ver fig. 2)

Variables Geométricas: Para ambas tipologías se determinaron los índices de radiación según el azimut, pendiente y número de capas. Se aplicó un valor de albedo medio de 0.3 para las superficies de áreas vecinas. Cabe aclarar, que las tipologías se han orientado tomando la fachada principal hacia el norte por considerar que es la orientación más favorable. A los efectos del cálculo térmico se dividieron las viviendas en cuatro locales cada una (estar, baño, dormitorio, y dormitorio principal).

Variables Térmicas: Existen dos grandes grupos de componentes edilicios: los materiales que acumulan y transfieren calor (pisos, paredes exteriores e interiores), y los componentes de transferencia (techos livianos, tabiques y puertas) ya que su masa es relativamente pequeña y no sirven para acumular energía. (Flores Larsen y Lesino, 2000)

Los pisos están compuestos por tres capas: 1 m de tierra con una conductividad térmica (k) de 0,6 W/m°C, una densidad (δ) de 1600 kg/m³ y una capacidad calorífica (Ce) de 1130 J/kg°C; la segunda capa está formada por 10 cm de contrapiso (k=1.73 W/m°C, δ =1893 kg/m³ y Cp=794 J/kg°C); y por último baldosa calcárea (k=1.38 W/m°C, δ =1500 kg/m³ y Cp=1000 J/kg°C).

Los muros exteriores e interiores son de ladrillo, su conductividad térmica es de 0,72 W/m°C, densidad de 1797 kg/m³ y capacidad calorífica de 919 J/kg°C; y enlucido de cemento en ambas caras (k=1.43 W/m°C, δ =1184 kg/m³ y Cp=836 J/kg°C).

En los techos se consideró un coeficiente de conducción (K) de 0,71 W/m²°C. Compuesto por: teja plana francesa (k=0.76 W/m²°C), lana de vidrio (k=0.043 W/m²°C), alfajías de álamo y barrera de vapor, machimbre de pino 1/2"(k=0.199 W/m²°C), y correas de 8x4"/c/ 50cm (k=0.138 W/m²°C).

Las puertas exteriores son placas de madera con un coeficiente conductivo de 5.7 W/m²°C. Como las ventanas no poseen aislación nocturna, se utilizó un valor de transmitancia de 5.8 W/m²°C (día y noche).

Para los coeficientes de transferencia por convección, se han tomado los siguientes valores: 7 W/m² °C para paredes interiores, 16 W/m² °C para paredes exteriores, 5 W/m² °C para piso del lado interior, 9 W/m² °C para techos del lado interior, y 16 W / m² °C para techos del lado exterior.

No se considera a las ganancias internas como una variable de estudio debido a que el objetivo del trabajo pretende determinar el impacto de la estrategia sobre diferentes configuraciones morfológicas y no sobre su uso.

Las propiedades físicas de los materiales utilizadas se obtuvieron a partir de tablas (Incropera y De Witt, 1996); y específicamente los coeficientes de absorbancia (albedo) fueron recogidos de los obtenidos para el catálogo de materiales locales mediante los ensayos experimentales, como se describió previamente. (Ver tabla 1a, b, c y 2a, b).

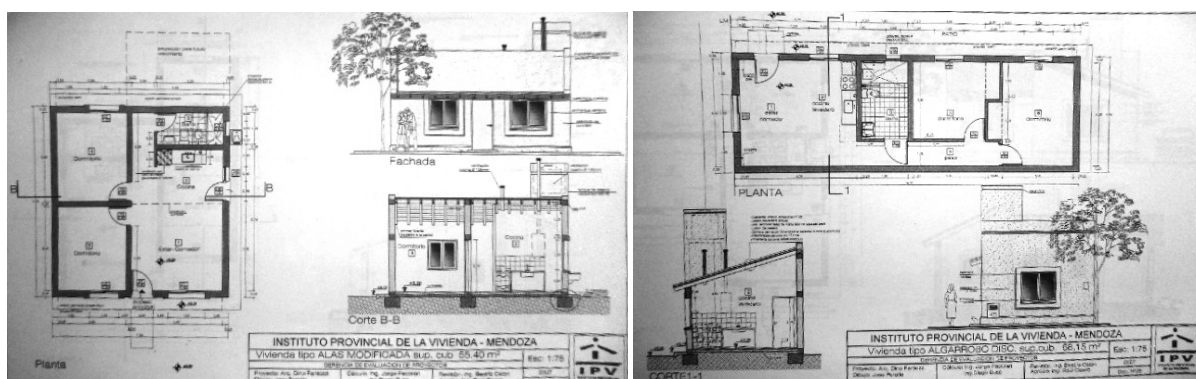


Fig. 1. Planos de viviendas sociales estudiadas. a. Tipología Cuadrada. b. Tipología Lineal

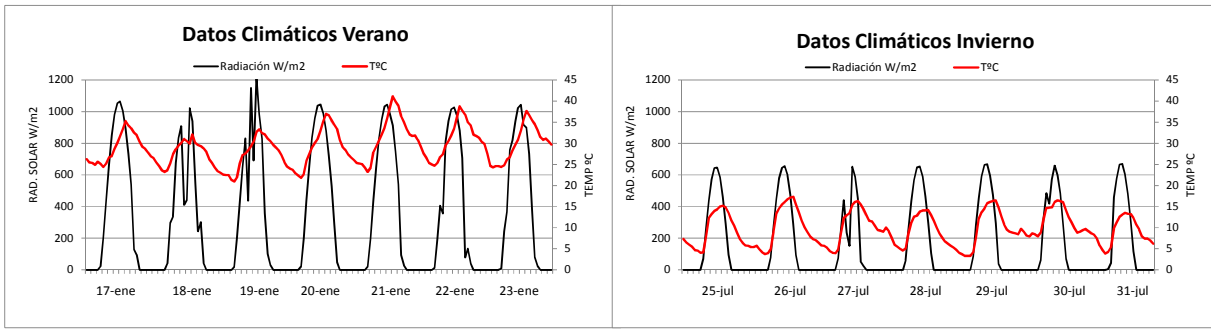


Fig. 2. Temperatura ambiente (°C) y radiación solar sobre plano horizontal (W/m²) del periodo estudiado.

RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Se simuló el comportamiento térmico de las tipologías -cuadrada y lineal- de acuerdo a los tres rangos seleccionados para la variación de albedo de su envolvente, durante la época estival e invernal.

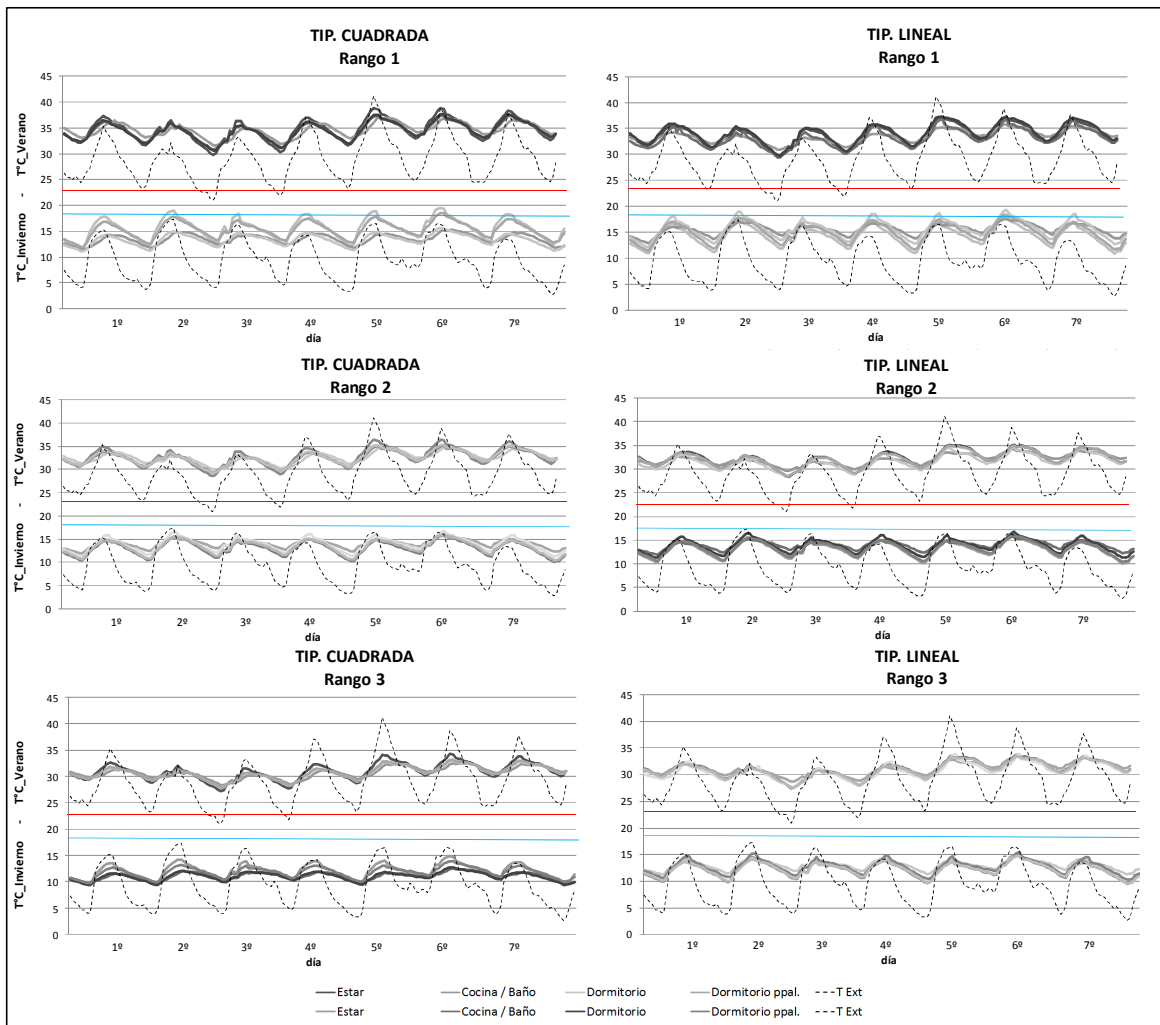


Fig. 3. Temperaturas interiores °C de los cuatro locales para el periodo de verano e invierno estudiada en la Tipología Cuadrada y Tipología Lineal.

Comportamiento térmico según rangos de albedo

Las gráficas resultantes del modelo de simulación (fig. 3) describen los siguientes comportamientos según rangos y periodos:

Periodo de Verano: Considerando la temperatura exterior promedio de 29°C (min: 23°C y max: 36.5°) se analizan los comportamientos de las viviendas de acuerdo a su configuración.

- Tipología Cuadrada: En el rango 1, con un albedo promedio de 0.33, la tipología alcanza una temperatura media interior de 35°C. Al aumentar las dotaciones de albedo a 0.57 (rango 2) se consigue una temperatura interior de 33°. En el tercer rango la temperatura disminuye a 31°C.

- Tipología Lineal: En el primer rango ésta configuración consigue una temperatura interior (Ti) de 34°C. El segundo rango alcanza un Ti=32 °C. En el tercer rango el valor de Ti= 31°C.

Periodo de Invierno: La temperatura media exterior es de 9.8°C (min: 4.5°C y max: 15.5°).

- Tipología Cuadrada: En la época invernal, como es de suponer, se registra una mayor eficiencia en los locales que están ubicados al norte (estar y dormitorio), siendo más evidente en la alternativa que posee una dotación de $\hat{\alpha}=0.33$. En éste rango1, los ambientes interiores consiguen una temperatura promedio de 14.5°C. En el rango 2 ($\hat{\alpha}=0.57$), la temperatura disminuye a 13°C. En el rango 3 ($\hat{\alpha}=0.73$) se registraron temperaturas de 11.5°C.
- Tipología Lineal: En el primer rango se registra un Ti=15.5°C. En el segundo rango Ti=14°C. En el tercer rango el valor es Ti= 12.5°C.

Durante el verano, aunque a priori se podría pensar que la tipología con mayor disponibilidad de ganancia solar directa (vivienda lineal) mostraría mayores temperaturas interiores esto no sucede debido a su tecnología constructiva poco conservativa, sumado a una mayor área de envolvente (166 m2) y a una gran porción de esta superficie orientada al sur.

En cambio, la tipología cuadrada -con igual tecnología- tiene menor superficie de pared sur y mayor área de muro este- oeste, envolventes que en verano funcionan como colectoras. Si analizamos que las áreas colectoras de ventanas norte son semejantes en ambas tipologías (diferencia de 0.9m2) vemos porque la tipología cuadrada es más caliente (temperatura interior promedio = 35°C). Mientras que la temperatura promedio en la tipología lineal es de 34°C en verano.

Este comportamiento se invierte durante el invierno, donde la vivienda lineal presenta mayores temperaturas interiores debido a que tiene mayor superficie de ganancia norte. (temperatura interior promedio = 14.5°C en la tipología cuadrada y de 15.5°C en la lineal).

Temperaturas interiores y confort

Ambas tipologías permanecen completamente fuera de los rangos de confort de 18°C en verano y de 25°C en invierno. El consumo de energía auxiliar en la vivienda depende de la diferencia entre la temperatura del aire interior de la misma y aquella necesaria para alcanzar la condición de confort, tanto para calefaccionar, como para refrigerar. Para los casos evaluados (dos tipologías y tres rangos de albedo), en invierno se observa en todas las alternativas, que la distancia entre la temperatura interior y la de confort es menor que para el verano. Las temperaturas interiores de ambas viviendas en invierno oscilan entre 11.5° y 15.5°C y en verano de 31° a 35°C. Si sumamos a éstos valores las ganancias internas aumentarían aprox. 2°C la temperatura interior. Éste hecho hace más favorable la condición de invierno y más desfavorable el comportamiento de las viviendas en el periodo de verano. De allí se deduce que la tecnología con las que están construidas éste tipo de viviendas sociales, resultan más aptas a los requerimientos climáticos de invierno dentro del contexto urbano analizado que para los periodos de verano. (Ver tabla 4)

Rangos	DIF. T° VERANO (°C)		DIF. T° INVIERNO (°C)	
	Cuadrada	Lineal	Cuadrada	Lineal
1 ($\hat{\alpha}=0.33$)	12	11	-1.5	-0.5
2 ($\hat{\alpha}=0.57$)	10	9	-3	-2
3 ($\hat{\alpha}=0.77$)	8	8	-4.5	-3.5

Tabla 4. Diferencia entre la temperatura interior (con ganancia interna) y la temperatura de confort para la tipología cuadrada y lineal, de acuerdo a tres rangos de albedo.

Diferencia Térmica promedio según rangos de albedo

Periodo de Verano: Al modificar un 57% los niveles de albedo de la envolvente edilicia (delta entre rango 1 y 3), se registraron diferencia térmicas interiores. La tipología cuadrada disminuyó 4°C su temperatura interior en éste periodo, que resulta el más demandante, mientras que la tipología lineal redujo su temperatura 3°C.

Periodo de Invierno: Se registró una disminución de 3°C, tanto en la vivienda de planta cuadrada como la lineal. (Ver fig. 4a)

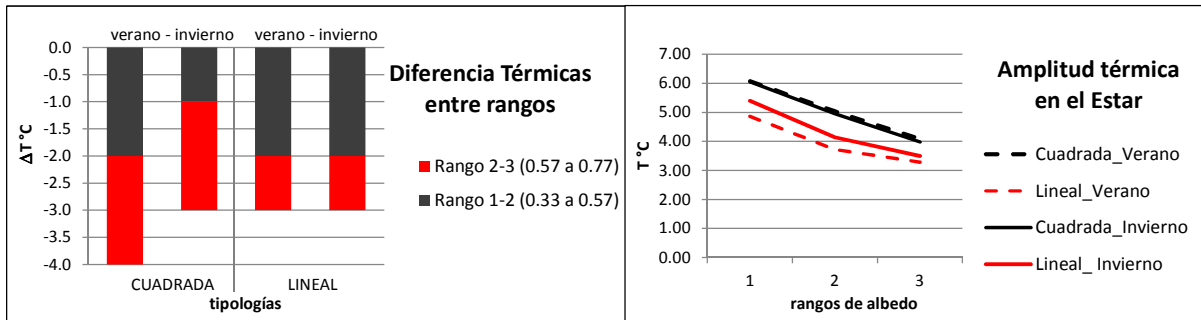
Amplitud térmica en un local (Estar) según rangos de albedo

Según bibliografía es recomendable que la amplitud térmica de un local habitacional no supere 5°C a lo largo del día. Es por ello que de forma particular, se seleccionó un local principal, el estar, en ambas tipologías debido a que es la zona de mayor uso y permanencia en una vivienda, sitio en donde conviven distintas actividades y el total de sus habitantes. El estudio se realizó de acuerdo a la variación térmica interior en los tres rangos de albedo para cada tipología:

Tipología cuadrada: En el rango 1 ($\hat{\alpha}=0.33$) se observa una oscilación térmica que superando los 6°C de diferencia a lo largo del día, tanto para verano como invierno. En el segundo rango ($\hat{\alpha}=0.57$) la amplitud térmica es de 5°C. Mientras que en el tercer rango ($\hat{\alpha}=0.73$) las diferencias no superan los 4°C. Es decir, que existe una relación de $\Delta=1^\circ\text{C}$ a medida que se aumenta el rango de albedo.

Tipología lineal: En el rango 1 ($\hat{\alpha}=0.33$) el estar tiene una amplitud térmica de 5°C. Aumentando el nivel de albedo a 0.57 -rango 2- se obtiene una diferencia de 4°C. En el tercer rango la amplitud térmica es de 3°C.

Se concluye entonces, en ambas tipologías y periodos, que a medida que se incrementan las dotaciones de albedo en los materiales de las envolventes, la amplitud térmica del estar disminuye. Hecho que se repite en los restantes locales simulados. Cabe aclarar, que en los periodos de verano e invierno la amplitud térmica del estar no registra mayores variaciones. (Ver fig. 4b)



Con el objeto de comparar la eficiencia de la aplicación de esta estrategia de acondicionamiento térmico respecto de otra tradicionalmente utilizada como la aislación en paredes. Se comparó el efecto de aislar la vivienda con 5 cm de poliestireno expandido, para la tipología cuadrada (tipología que ofrece más sensibilidad a las modificaciones de albedo).

Los resultados de la simulación muestran que el beneficio de la aplicación de la aislación es equivalente a la primera modificación de rango de albedo propuesta, es decir aumentar el nivel de 0.33 a 0.57. Esto pone de manifiesto, que modificar las propiedades ópticas de la envolvente es una estrategia de acondicionamiento térmico de verano costo- efectiva, debido a que no implica prácticamente ninguna inversión respecto del presupuesto original, costo que sí es necesario afrontar cuando se decide aislar la vivienda. (Ver fig. 5)

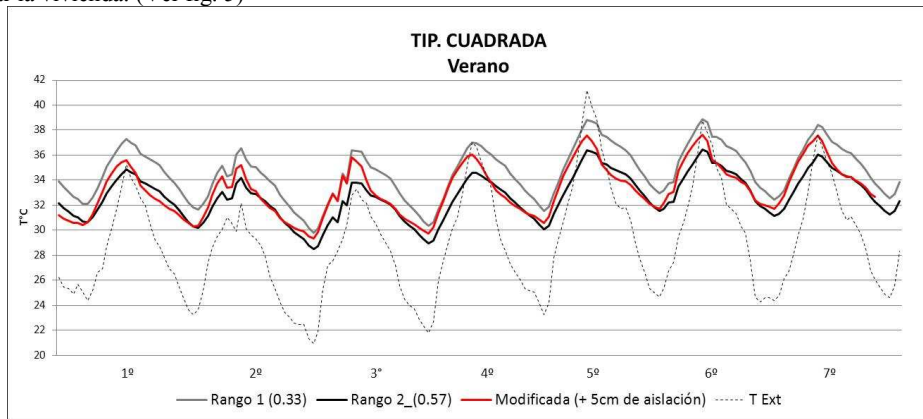


Fig. 5. Comparación del comportamiento térmico interior (°C) de tipología cuadrada rango 1, tipología cuadrada rango 2 y tipología cuadrada modificada con 5cm de aislación en paredes.

Influencia de la orientación sobre el desempeño térmico según tipología de vivienda

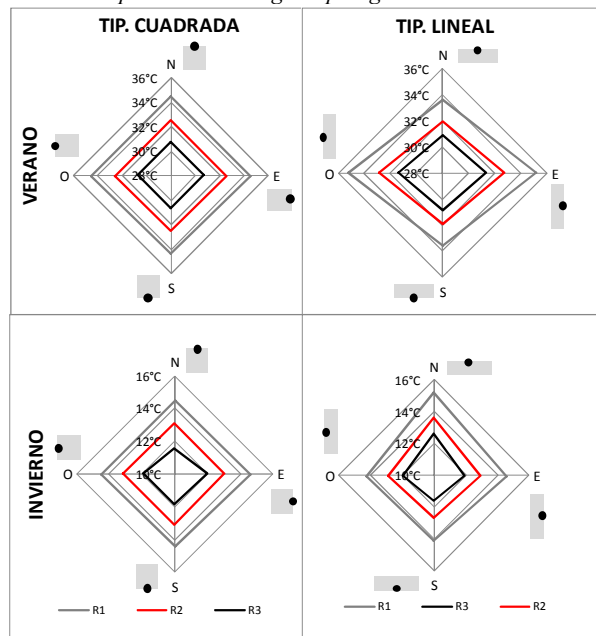


Fig. 6. Comparación del comportamiento térmico interior (°C) de tipología cuadrada y lineal de acuerdo a los tres rangos de albedo según orientación (N, S, E y O) para verano e invierno.

Para estudiar la respuesta de la modificación del albedo sobre la envolvente edilicia se debe analizar también en qué situación geográfica está inserta la estructura edilicia. Es por ello que se realizaron simulaciones rotando las tipologías de vivienda hacia las tres orientaciones restantes (E, O, y S) y para cada rango de albedo.

La fig. 6 grafica el comportamiento térmico de las tipologías de vivienda -cuadrada y lineal- en los tres rangos de albedo de acuerdo a su orientación.

Periodo de Verano:

- *Tipología Cuadrada:* Por poseer una configuración morfológica simétrica la tipología de planta cuadrada no presenta diferencias térmicas al modificar su orientación. Diferencia térmica de 4°C entre el rango 1 y 3 para las cuatro orientaciones (N, S, E y O).
- *Tipología Lineal:* Las orientaciones este y oeste registran una diferencia térmica entre rangos de 4°C, mientras que la orientación norte y sur alcanza una diferencia térmica de 3°C.

Periodo de Invierno:

- *Tipología Cuadrada:* Al igual que el período de verano ésta tipología no presenta un comportamiento térmico diferente al modificar su orientación, con registros de 3°C de diferencia térmica.
- *Tipología Lineal:* Alcanza diferencias térmicas entre rangos de 3°C en la orientación norte, sur y este, de 2°C al sur. (Fig. 6 y tabla 4).

CONCLUSION

El consumo doméstico de energía representa aproximadamente un tercio del consumo total de energía en la mayoría de los países (Sarah et al., 1996). En los países subdesarrollados, el consumo doméstico es el 57% del consumo de electricidad total (Parker et al., 1994). De allí se deriva la importancia de proponer y cuantificar el efecto de estrategias de enfriamiento, tales como trabajar sobre la selección de materiales de distinto albedo disponibles en el mercado local para la resolución de las envolventes edilicias.

Los resultados muestran que a medida que aumentan los niveles de albedo en la envolvente edilicia se disminuyen las temperaturas interiores. La temperatura interior de la tipología cuadrada es más susceptible a ser modificada como consecuencia de la variación de las características ópticas de los materiales de su envolvente (dif. térmicas de 4° en verano y 3°C en invierno). Mientras que en la tipología lineal -orientación norte- se registra una diferencia térmica en verano e invierno de 3°C.

Sin embargo, la eficiencia de la modificación de rango de albedo en la envolvente está estrechamente ligada al azimut de las superficies expuestas. Es por ello, que si observamos el comportamiento en verano de la tipología lineal, que en un principio (fachada norte) no mostraba mayor susceptibilidad a las modificaciones de rango, presenta un gran potencial cuando las fachadas longitudinales se orientan hacia el este-oeste. Alcanzando una diferencia térmica entre rangos de 4°C, valor equivalente a la tipología cuadrada. En cambio en la tipología cuadrada, por su morfología simétrica, la temperatura interior promedio es independiente a su orientación.

De acuerdo a la brecha entre la temperatura interior de cada tipología y la temperatura de confort (Fig. 3), los requerimientos de energía auxiliar para acondicionamiento térmico serán más importantes en verano. Si bien aumentar el albedo de las envolventes conlleva a una disminución de la temperatura interior en invierno, la magnitud de la demanda de energía para alcanzar el confort y el costo del tipo de energía que se usa para refrescar el espacio (energía eléctrica) sostienen la ventaja de la aplicación de materiales reflectivos como una estrategia eficiente para mejorar el funcionamiento energético de la vivienda. En argentina el mix energético para la generación de energía eléctrica se compone de aprox. un 45% de energía producida con base térmica (gas), es por eso que si consideramos un escenario dónde el costo de gas natural incrementase, aumentaría también el costo de energía eléctrica.

Si comparamos los resultados de la variación del albedo versus otra estrategia de acondicionamiento, como la aislación, vemos que el impacto de aplicar 5cm de poliestireno expandido en paredes disminuye 2°C las temperatura interior de la vivienda, valor equivalente a la primera modificación de albedo de (0.33 a 057). Incrementar las propiedades ópticas de la envolvente es una estrategia de acondicionamiento térmico de verano eficiente desde el punto de vista de económico debido a que no implica ningún sobre costo en el presupuesto original de construcción, diferencia económica que si es necesario afrontar cuando se decide aislar.

Aunque de carácter inicial, los resultados obtenidos de la tipificación de las propiedades ópticas de los materiales disponibles en el mercado local y la cuantificación térmica del comportamiento de las distintas tipologías de vivienda social, constituyen una herramienta útil de transferencia.

Como consideración final, para la aplicación masiva de este tipo de estrategias, es necesario contar con información referente a las propiedades ópticas de materiales y propiciar una futura certificación energética de materiales tanto a nivel urbano como edilicio. Por medio de etiquetado de materiales de construcción, tales como el Índice de Reflectancia Solar (SRI), albedo y emisividad.

REFERENCIAS

- Alchapar N., Correa E., Lesino G. (2011). Reflectividad solar de revestimientos horizontales en la envolvente urbana y su capacidad para mitigar la isla de calor. *Revista Energías Renovables y Medio Ambiente*, 28- 37-46.
- Alchapar N., Correa E., Cantón M. (2012.a). Índice de reflectancia solar de revestimientos verticales. Potencial para la mitigación de la isla de calor urbana. *Revista Asociación Nacional de Tecnología de Ambiente Construido* 12, 3, 107- 123.
- Alchapar N., Correa E., Lesino G. (2012.b). Estrategias de enfriamiento pasivo urbano. Índice de reflectancia solar y relación costo-beneficio en pinturas para fachadas. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 16, 05.67-05.76.
- Alchapar N., Correa E., Cantón M. (2013). Envelopes according their capacity for mitigation the urban heat island in semiarid zones. *Energy and Buildings*. *Aceptado con correcciones*.
- Akbari H., Sarah B., Dan M., James H. (1997). Peak power and cooling energy savings of high-albedo roofs. *Energy and Building* 25, 117-126.
- Akbari, H. and S.J. Konopacki (1998). The Impact of Reflectivity and Emissivity of Roofs on Building Cooling and Heating Energy Use.” Proceedings of the Thermal Performance of The Exterior Envelopes of Building VII. December 6-10. Clearwater Beach, FL.
- Akbari, H., S. Konopacki and M. Pomerantz. (1999). “Cooling Energy Saving Potential for Reflective Roofs for Residential and Commercial Buildings in the United States.” *Energy* 24, 391-407.
- Akbari H., Levinson R., Stern S. (2008). Procedure for measuring the solar reflectance of flat or curved roofing assemblies. *Solar Energy* 82, 648-655.
- Bretz, S. and Akbari, H. (1997). Long-Term Performance of High Albedo Roof Coatings. *Energy and Buildings*, 25, 2, 159-167.
- Cheng V., Ng E., Givoni B. (2005). Effect of envelope colour and thermal mass on indoor temperatures in hot humid climate. *Solar Energy* 78, 528-534.
- Correa E. (2006). Isla de Calor Urbana. El Caso de área Metropolitana de Mendoza. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Salta.
- Correa E., Alchapar N., Cantón A. (2010). Estrategias de mitigación de la isla de calor en ciudades de zonas áridas. El caso de los materiales”. *Entac* 2010. XIII Encuentro Nacional de Tecnología del Ambiente Construido.
- Czajkowski Jorge y Gómez Analía. (1994). Introducción al diseño bioclimático y la economía energética edilicia. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata, colección Cátedra. La Plata.
- Estévez A., Fernandez J., Basso M., Mitchel J. y De Rosa C. (1994). Simulación térmica de edificios: aplicación de los modelos QUICK y SIMEDIF. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*.
- Estévez A., Gelardi D., Oliva A. (1997). The Shape in Bioclimatic Architecture. Teaching in Architecture Conference. Cap. 3, 12-18. Ed. Marco Sala. Florencia. Italia.
- Givoni, B., (1998). Climate considerations in building and urban design. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- 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, 08.53-08.58.
- Flores Larsen S. y Lesino G. (2001a). A new code for the hour-by-hour thermal behaviour simulation of buildings. In Proceedings of VII International Building Simulation Congress, 75-82, Brasil.
- Flores Larsen S. y Lesino G. (2001b). Modelo térmico del programa SIMEDIF de simulación de edificios. *Energías Renovables y Medio Ambiente* 9, 15-24.
- Filippin C., Flores Larsen S., y Lesino G. (2002). Simulación térmica de verano de un sector del bloque de residencias estudiantiles bioclimáticas en Santa Rosa, La Pampa. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 6, 1, 08.53-08.58.
- Norma IRAM 11605 (1996). Acondicionamiento Térmico de Edificios. Condiciones de Habitabilidad en Viviendas.
- Kai, L., Neide, M. y Vanderley M. (2010). Estimating Termal Performance of Cool Colored Paints. *Energy and Buildings* 42, 17-22.
- Levinson R., Berdahl P., Berhe A., Akbari H. (2005). Effects of soiling and cleaning on the reflectance and solar heat gain of a light colored roofing membrane. *Atmospheric Environment* 39, 7807-7824.
- R. Levinson, H. Akbari, J.C. Reilly. (2007). Cooler tile-roofed buildings with nearinfrared- reflective non-white coatings, *Building and Environment* 42, 2591-2605.
- Mitchell J. y Acosta P. (2009). Evaluación comparativa de tipologías de viviendas sociales en la provincia de Mendoza. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* 13, 05.161-05.167.
- Incropera P. and Dewitt D. (1996). Fundamentals of heat and mass transfer. John Wiley & Sons, Inc.USA.
- Kipp & Zonen. Catálogo de Producto. Disponible en: <<http://www.kippzonen.com/>>. Access: Marzo, 2012.
- Parker, D., Barkaszi S. and Sonne J., (1994). . Measured cooling energy savings from reflective roof coatings in Florida, Phase II report, Rep.No. FSEC-CR-699-94. Florida Solar Energy Center, Cape Canaveral,FL.
- Pomerantz, M., H. Akbari, P. Berdahl, S.J. Konopacki, H. Taha and A.H. Rosenfeld.(1999). Reflective Surfaces for Cooler Buildings and Cities. *Philosophical Magazine* B79, 9,457-1476.
- Ruiz A. (2013). Efectos microclimáticos de la vegetación en ciudades de zonas áridas. Incidencia sobre los consumos energéticos y la calidad ambiental del hábitat. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Salta.
- Sailor D, Resh K, Segura D. (2006) Field measurement of albedo for limited extent test surfaces. *Solar Energy*, 80, 589-599.
- Shariah, A., Tashtoush, B. and Rousan, A., (1996). *Energy and Buildings*.
- Taha, H., Akbari, H., Rosenfeld, A., Huang, J., (1988). Residential cooling loads and the urban heat island: the effects of albedo. *Building and Environment* 23,271-283.
- Young, R. (1998). Cool Roofs: light -colored coverings reflect energy savings and environmental benefits. *Building Design and Construction* 39, 2, 62-64.

ABSTRACT

Increasing the solar reflectance of urban surfaces modified thermal conditions both indoor and outdoor space. The application of "cool materials" is conditioning strategy feasible and low-cost. To quantify the impact of this conditioning strategy on indoor temperatures during winter and summer period, were simulated two social housing configurations (compact, linear), with three ranges of albedo in its envelope. Absorption coefficients that were admitted to simulator correspond to catalog of local materials obtained through experimental tests. The simulation results show the typology that offers more sensitivity to changes in albedo is compact (diferencia term. = 4 °C summer and 3 °C winter). By compare the efficiency of the implementation of this strategy with insulation on wall of polystyrenes (5cm) is observed that the benefit is equivalent to the rank first of albedo modification of proposal ($\hat{a} = .33$ to $.57$).

Keywords: optical properties, enveloped material, indoor temperature.