

El uso de materiales en la conservación de energía y uso de energía solar

Alfredo Esteves

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda

INCIHUSA – CONICET

Universidad de Mendoza

El sol

El sol se encuentra a 150×10^6 km de la Tierra.

Es gas.

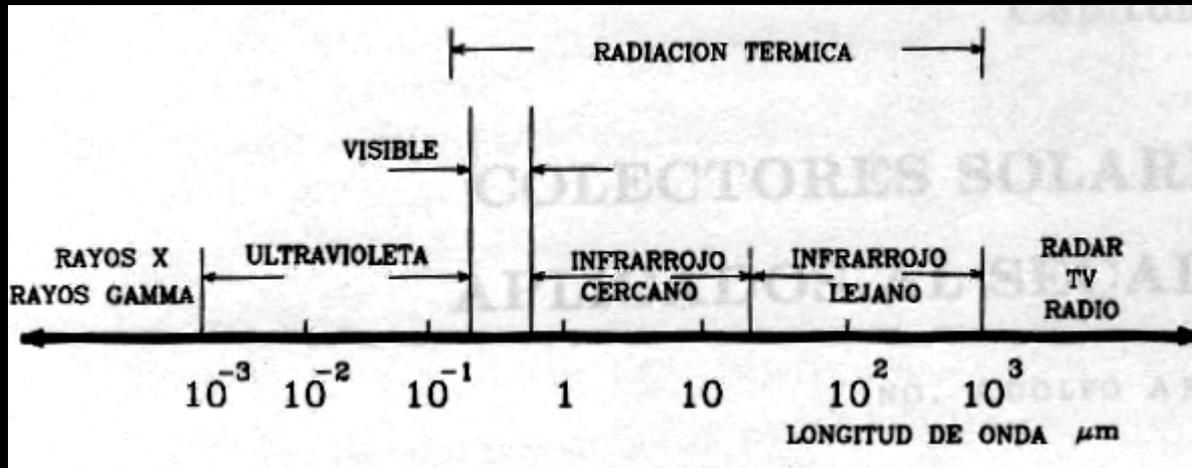
Reactor de fusión nuclear produce temperaturas de 5800°C en su superficie.

La energía demora 8' en llegar desde el sol.

La potencia media al mediodía es de 1000 W/m^2 s/plano perpendicular

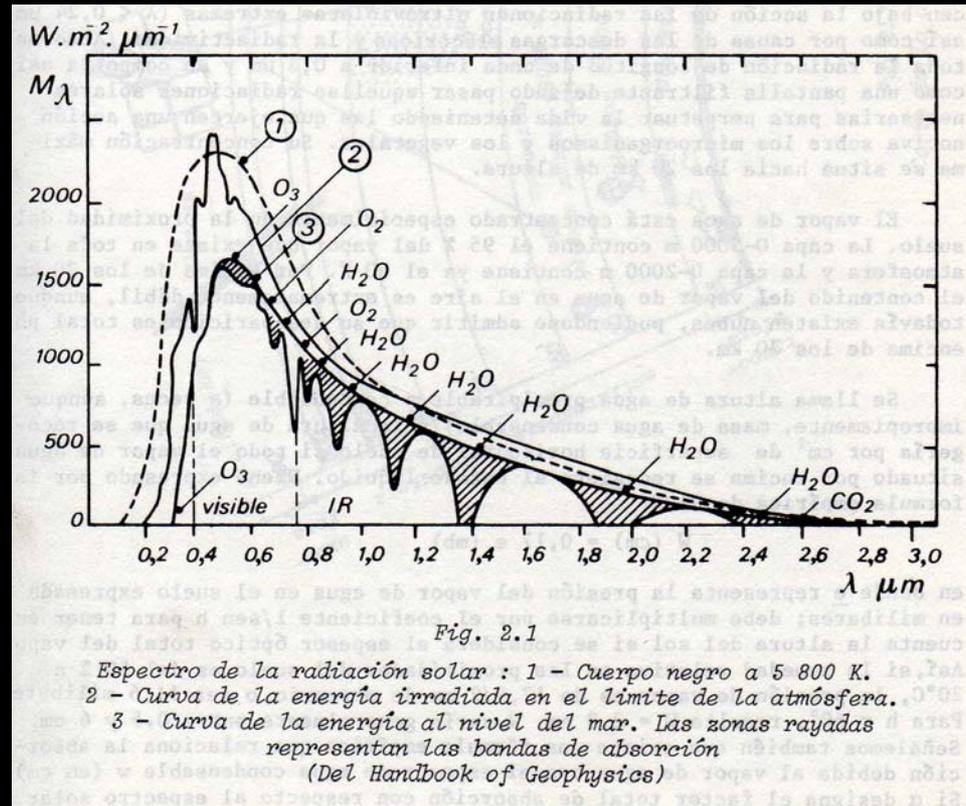


Espectro de radiación térmica

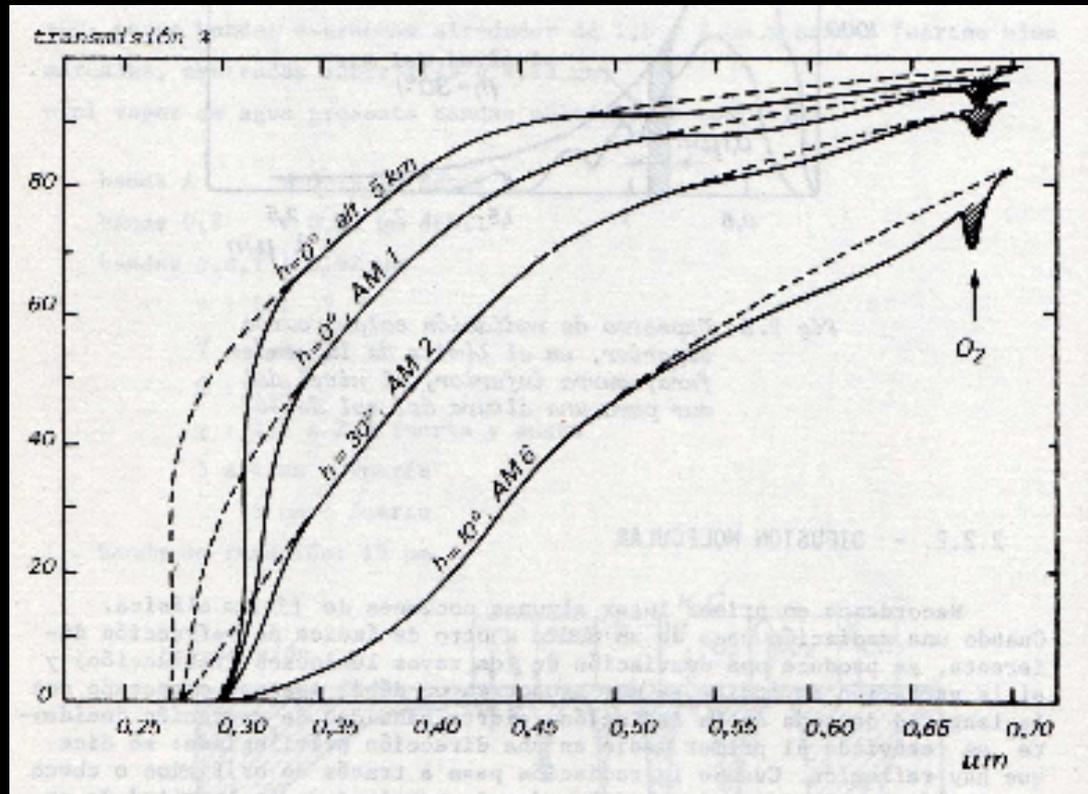


El espectro de radiación de interés en aplicaciones térmicas abarca la radiación del espectro visible, infrarrojo cercano e infrarrojo lejano y parte del UV. Es interesante notar que la energía originada en el sol es como rayos gamma que luego va perdiendo su energía hasta llegar al espectro solar.

Espectro de radiación térmica



Espectro de radiación térmica



Ganancia y Pérdidas del colector

Sale el calor útil Q_u



Llega energía o calor solar, G

Entra agua fría a temperatura T_i

Colectores solares térmicos



Materiales para cubierta

El material de las cubiertas transparentes, al incidir la radiación solar sobre ellos, en parte se transmite, en parte se absorbe y en parte se refleja.

La transmitancia es la relación de la radiación transmitida sobre la radiación recibida. Es función del espesor del material, del ángulo de incidencia y del coeficiente de extinción. Estos parámetros se relacionan a través de la Ley de Bourguer.

$$\tau = \exp(-L * K / \cos(\Phi))$$

Donde: L = espesor; K = coef. de extinción y Φ ángulo de incidencia

Transmitancia globales y coeficiente de extinción

Tabla 1: Transmitancias globales y coeficientes de extinción.

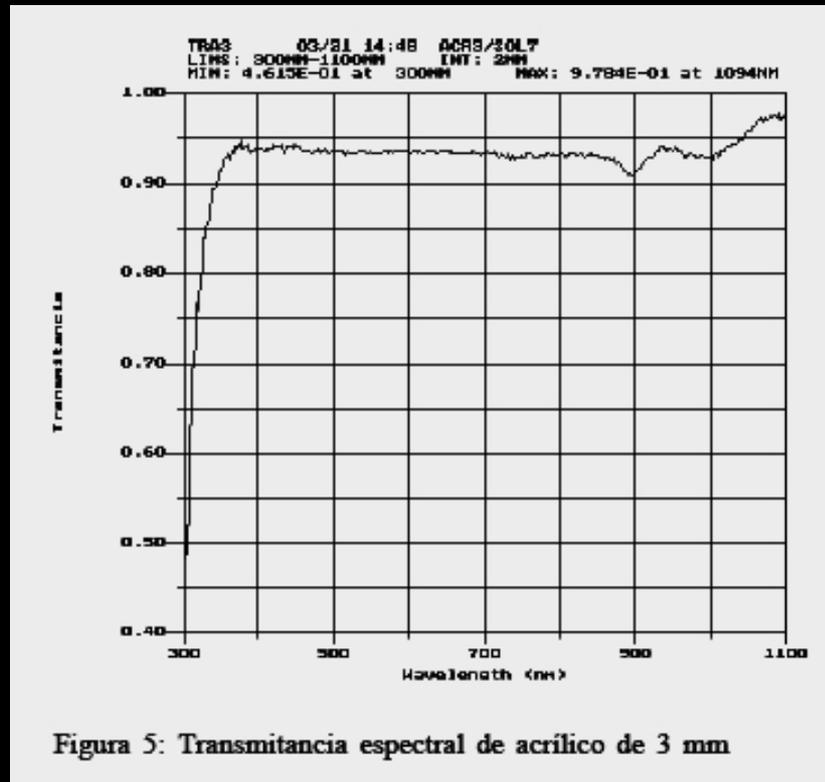
Material	Tau	L / 1000	K
		mm	l / m
Acrílico	0,88	3,00	42,61
Fibra de vidrio	0,80	2,60	85,82
Policarbonato	0,76	8,00	34,30
Policarbonato	0,83	4,00	46,58
Vidrio ordinario	0,84	3,20	54,49
Vidrio ordinario	0,81	4,00	52,68
Vidrio Pyrex	0,86	6,00	25,14

Materiales de cubierta

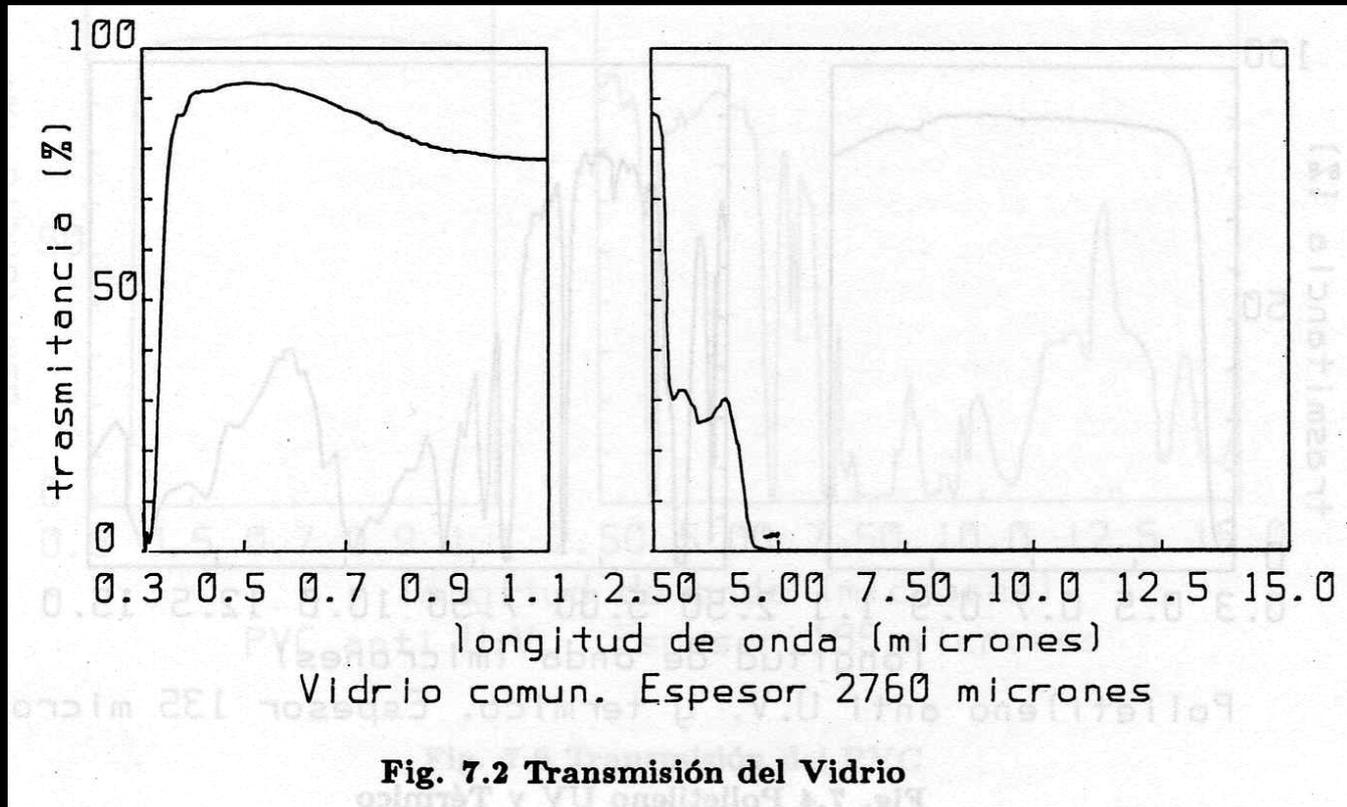
Es bueno analizar las propiedades ópticas. Pero también tiene que ver el costo de cada uno de los materiales. En general, el vidrio ha sido reemplazado por las mantas plásticas, sobretodo en el agro y cuando no está comprometido por la temperatura elevada.

El vidrio tiene características excelentes en cuando a su comportamiento frente al UV y a la temperatura del aire.

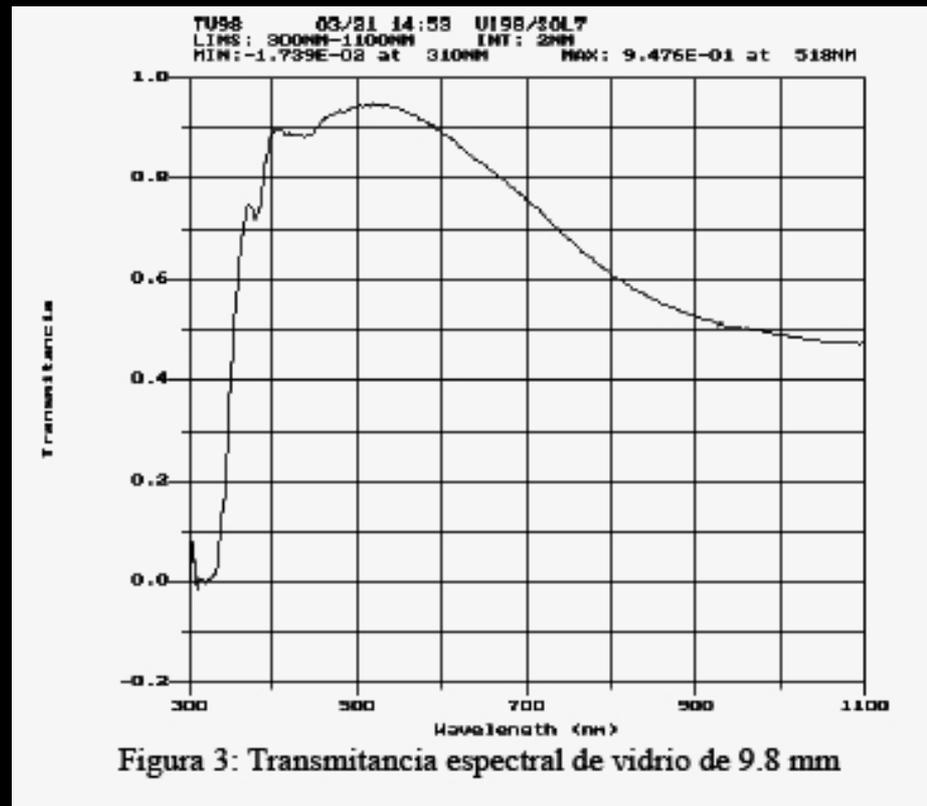
Espectro para un acrílico de 3 mm



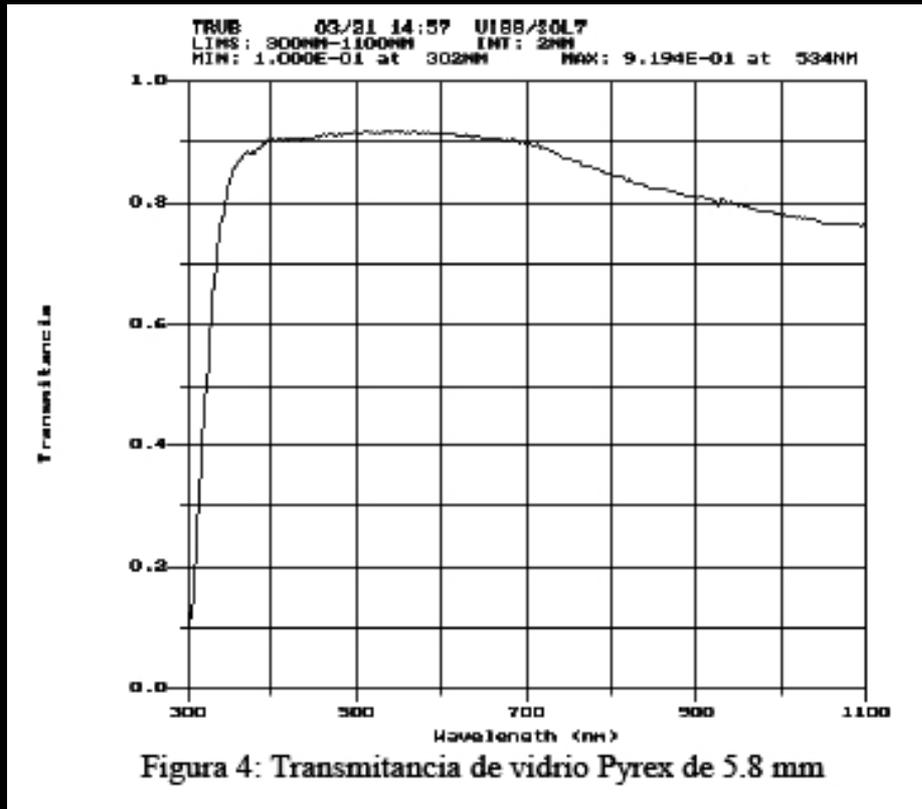
Espectro para vidrio de 2.8 mm



Espectro para vidrio de 9.8 mm

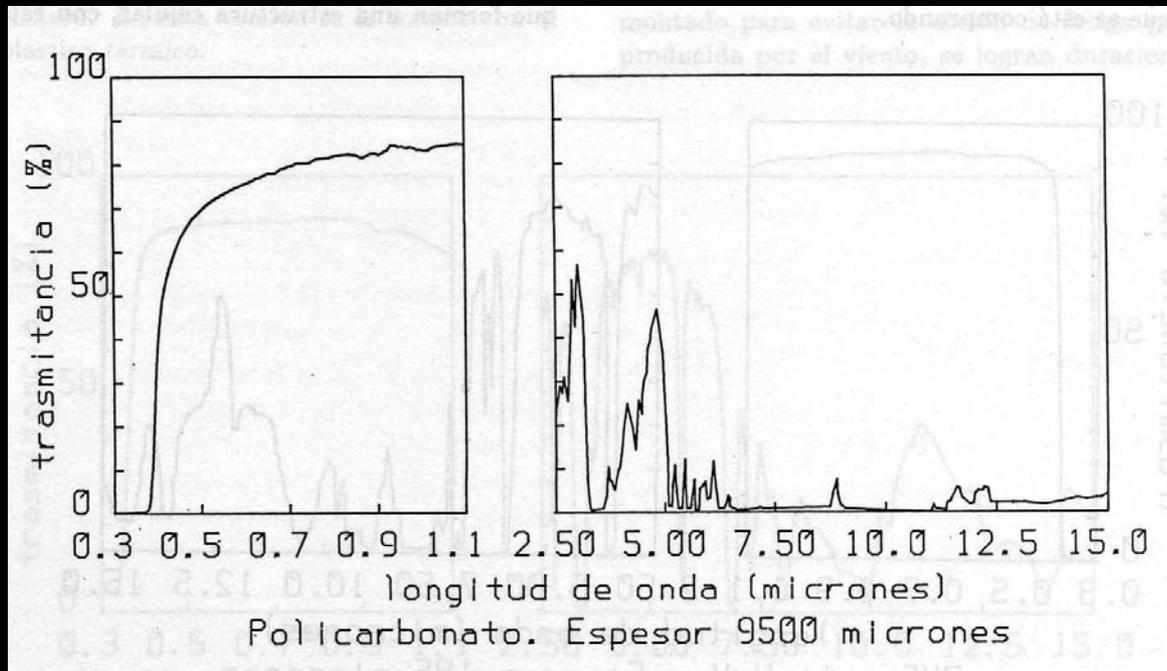


Espectro para Vidrio de pyrex



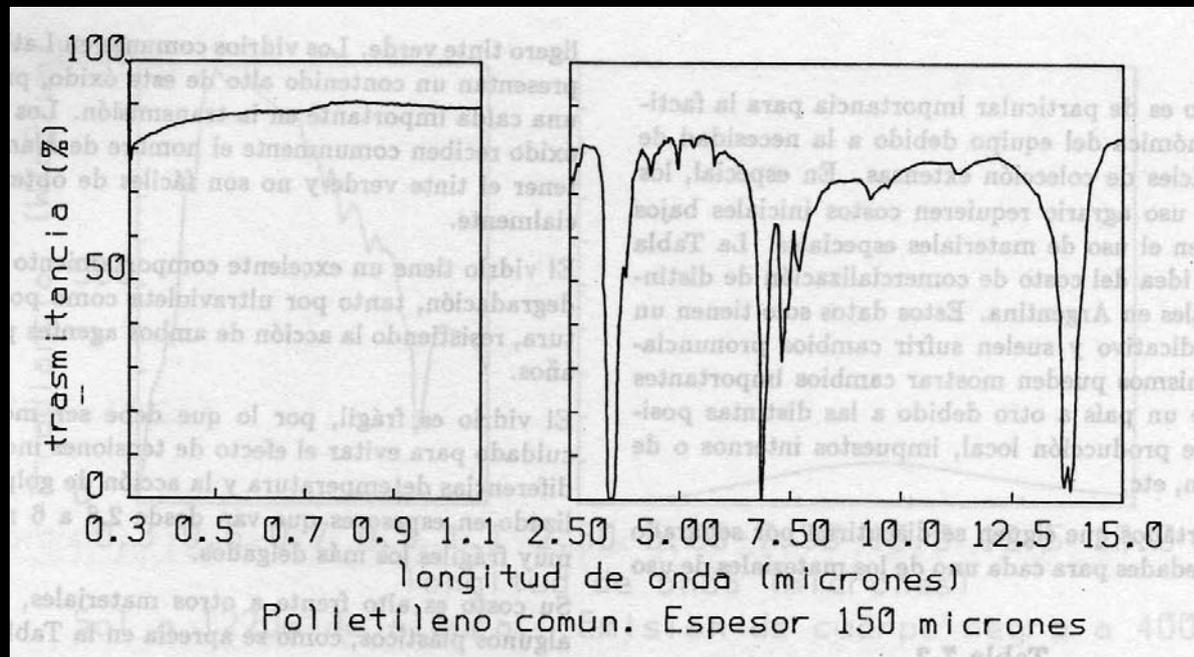
Vidrio con borosilicatos que le confieren mayor resistencia mecánica y térmica, pero el costo resulta considerablemente mas alto.

Espectro para el policarbonato



Tiene un corte por debajo de 0.34 para mejorar su comportamiento ante el UV.

Espectro para el polietileno

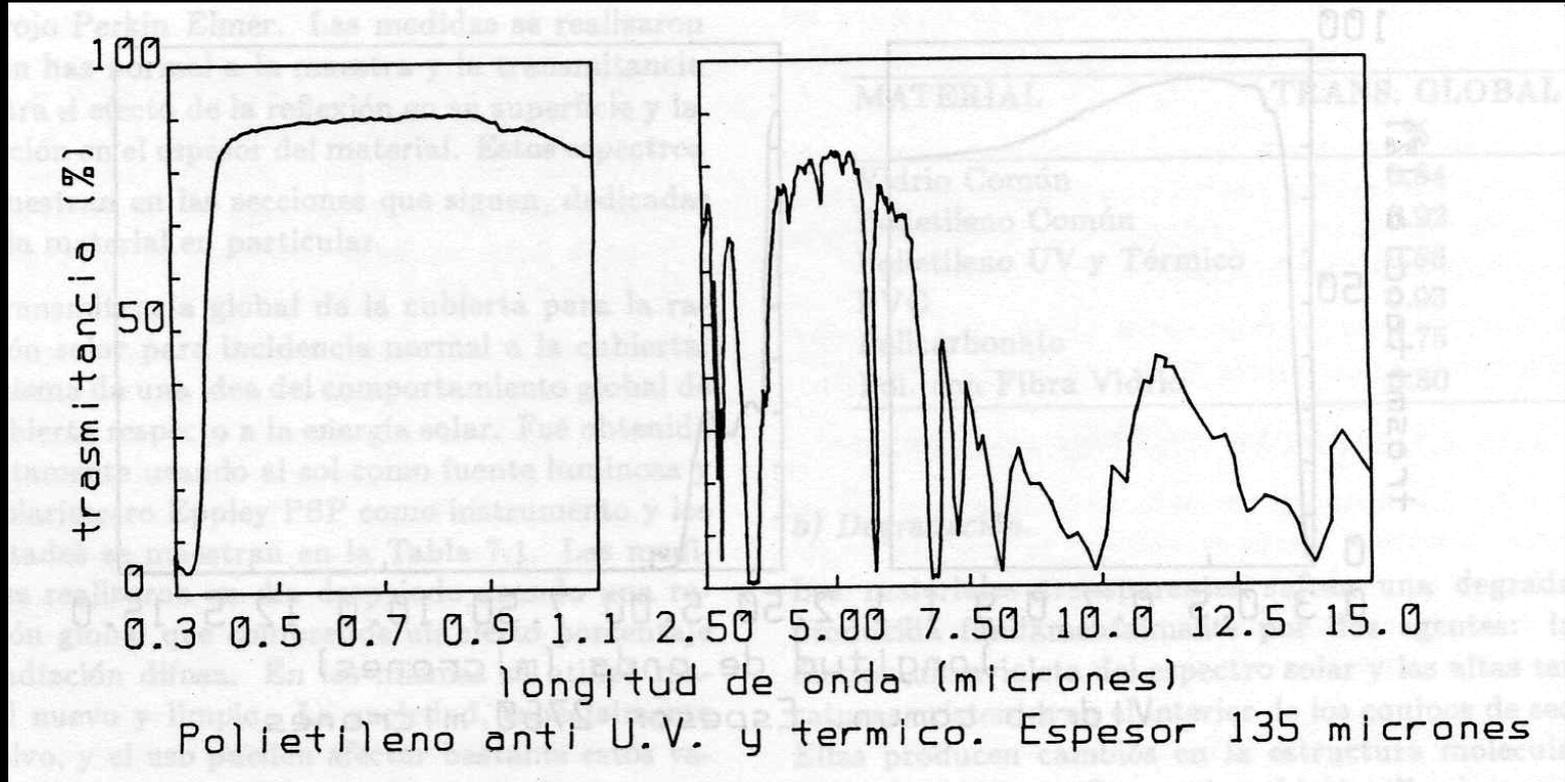


Tiene alta transmitancia en el espectrosolar. Aparecen algunos picos en la zona infrarroja. Pero entre 7.5 y 13 micrones tiene alta transmitancia lo que no lo deja generar el efecto invernadero

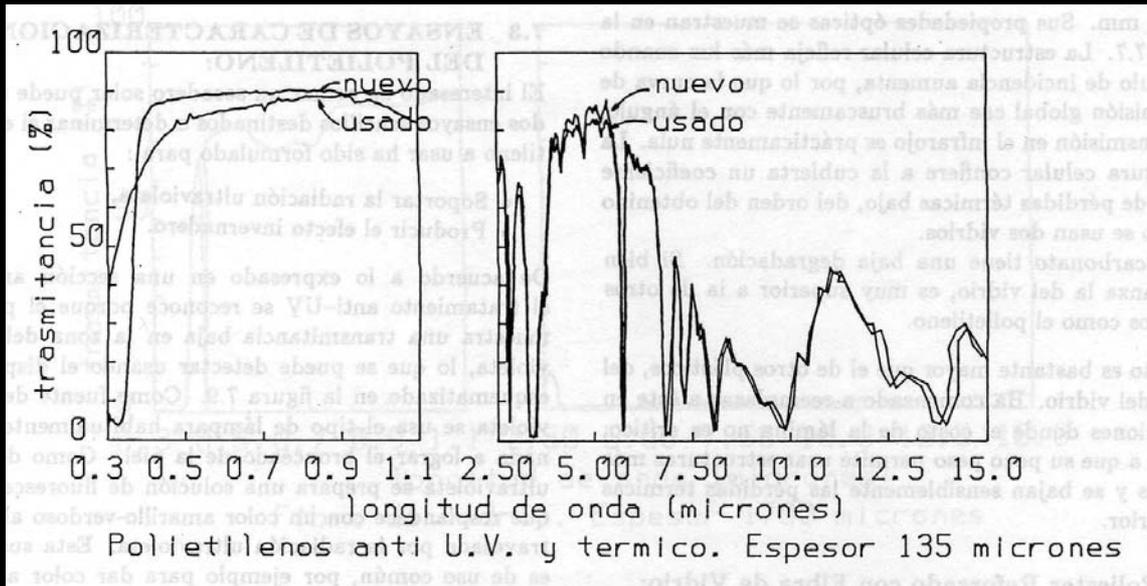
Se degrada frente al UV, no aguantando mas de una temporada.

La temperatura no debería subir mas de 70°C. Se vende en espesores de 50 a 400 micrones

Espectro del polietileno LDT



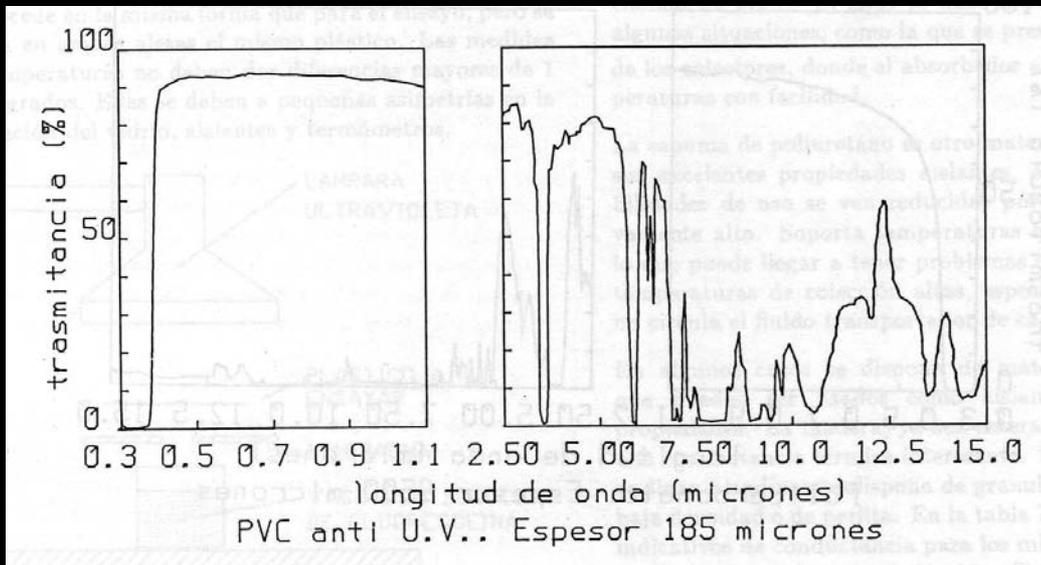
Espectro del polietileno LDT



El polietileno LDT aparece como de mejor comportamiento cuando nuevo, luego pierde propiedades. Dura 2 o 3 años. Los agregados permiten buen efecto invernadero

No aguanta mas de 70°C

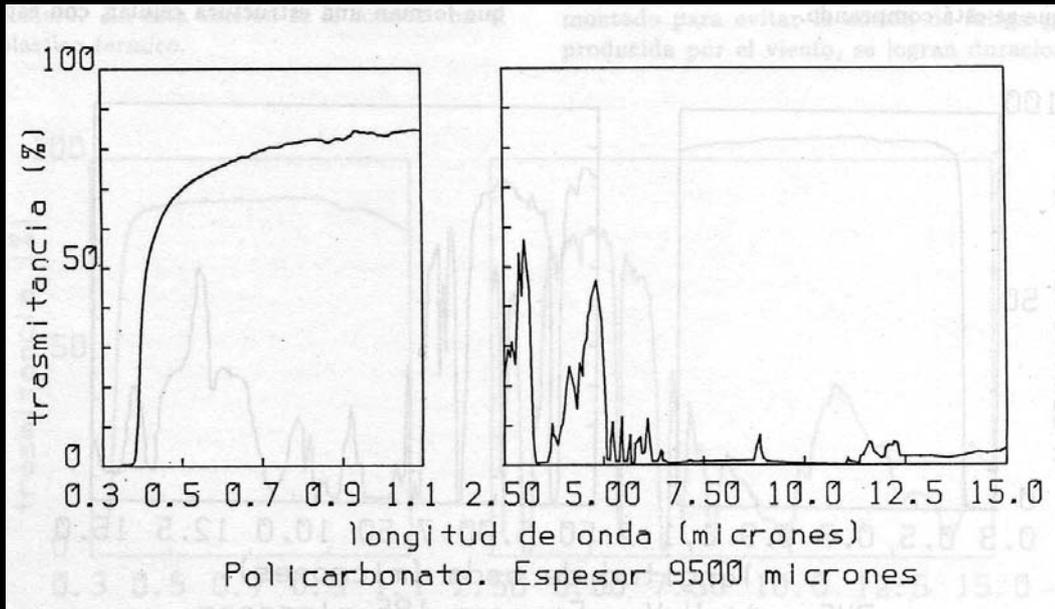
Espectro del PVC



Tiene buena transmisión en el espectro solar y entre 8 y 14 también baja la transmisividad por lo que genera efecto invernadero.

Su degradación es menor que la del polietileno pero su costo es mayor, por lo que se prefiere el polietileno LDT

Espectro del Policarbonato

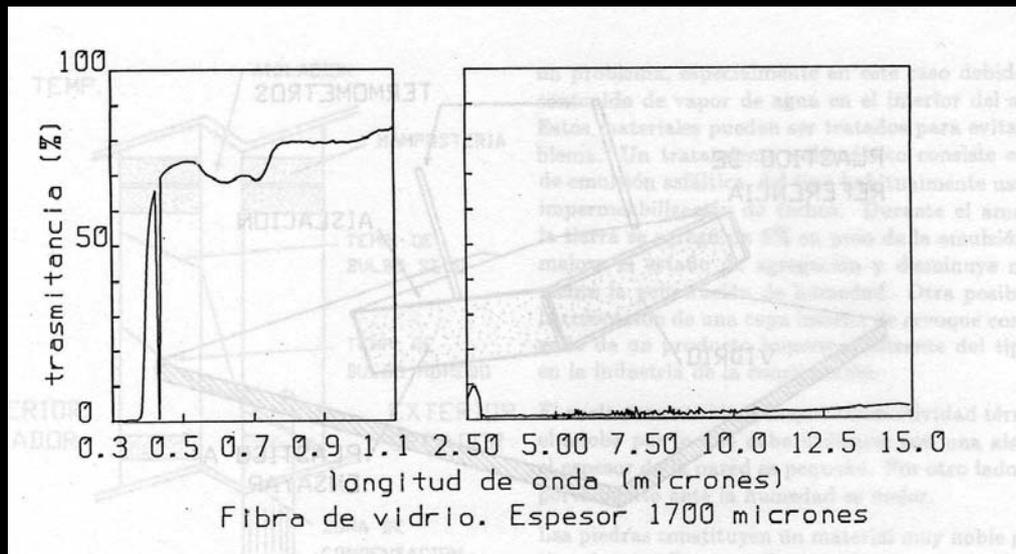


Es un material alveolar.

Tiene mayor reflexión con mayores ángulos de incidencia.

Genera efecto invernadero. Su transmitancia térmica similar al doble vidriado, y su liviandad, lo hace muy adecuado en algunas aplicaciones en reemplazo del vidrio

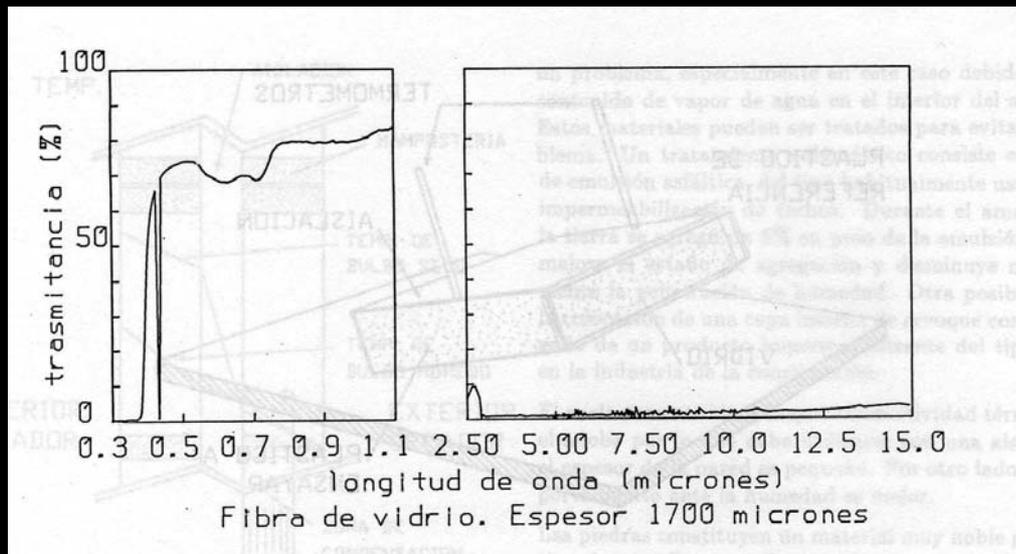
Espectro de fibra de vidrio con poliéster



Tiene buenas características ópticas.

Se degrada en la superficie y deja los pelos de fibra al aire, que atrapa la tierra y se opaca. También se amarillea al estar sometido a temperaturas mayores de 100°C

Espectro de fibra de vidrio con poliéster



Tiene buenas características ópticas.

Se degrada en la superficie y deja los pelos de fibra al aire, que atrapa la tierra y se opaca. También se amarillea al estar sometido a temperaturas mayores de 100°C

Ejemplo de aplicación



Secadero de ciruelas

Se construye en cañizo, se coloca la ciruela y luego se cubre con polietileno de 50 micrones.

La ventilación por debajo elimina la humedad.

Ejemplo de aplicación



Secadero de madera

Colector horizontal con
cubierta transparente de
vidrio.

Ejemplo de aplicación



Secadero de tomates

Tiene estructura metálica y policarbonato alveolar

La circulación desde la chimenea genera el movimiento de aire desde el punto opuesto

Intensidad Solar

**Varía de Invierno a Verano
En Mendoza podemos recibir
(sobre superficie horizontal):**

**10 MJ/m² en Junio (día claro)
30 MJ/m² en Diciembre (día claro)**

**Una estufa de cuarzo (1200W)
encendida durante 6 hrs = 25MJ**

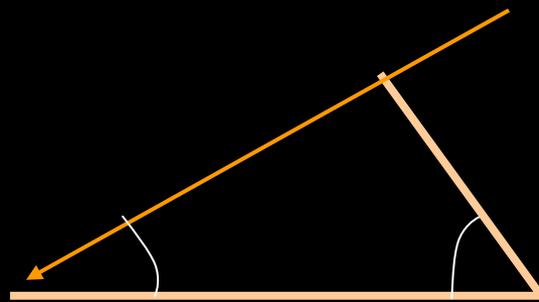
Dirección de los rayos solares

Mientras más perpendicular a los mismos, mayor será la radiación recibida o menor la superficie necesaria



Dirección de los rayos solares

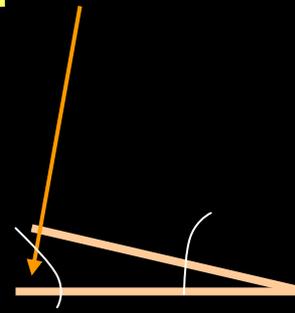
Es dependiente de la latitud, para Mendoza



34°

56°

Invierno



80°

10°

Verano

En invierno, si utilizamos una superficie horizontal deberá ser de mayor tamaño o deberemos inclinarla

En verano, menos inclinada

Dirección de los rayos solares

La Fachada Norte del edificio es la que más energía gana en invierno y la que menos gana en verano. Esto es válido para todos los climas templados de la Argentina

Materiales reflectivos

Los materiales reflectivos permiten redireccionar la radiación solar y dirigirla hacia otro lugar. Esto es aplicable cada vez que queramos hacer un concentrador plano o curvo o simplemente un reflector plano como un estante de luz

Reflectividad de materiales

MATERIALES ESPECULARES		MATERIALES DIFUSIVOS	
Espejo de vidrio de 2 mm	0,795	PVC blanco	0,871
Espejo de vidrio de 3 mm	0,754	Fibra de vidrio pintada de blanco	0,709
Espejo de vidrio de 4 mm	0,712	Chapadur prepintado blanco	0,741
Aluminio de alta reflectividad (verde)	0,839	Chapa pintada de blanco nueva	0,582
Aluminio de alta reflectividad (rosado)	0,853	Chapa pintada de blanco envejecida	0,656
Aluminio de alta reflectividad (celeste)	0,820	Chapa galvanizada	0,588
Mylar	0,833		
Papel de aluminio	0,799		
Acero inoxidable	0,572		

Reflectividad



especular



opaco

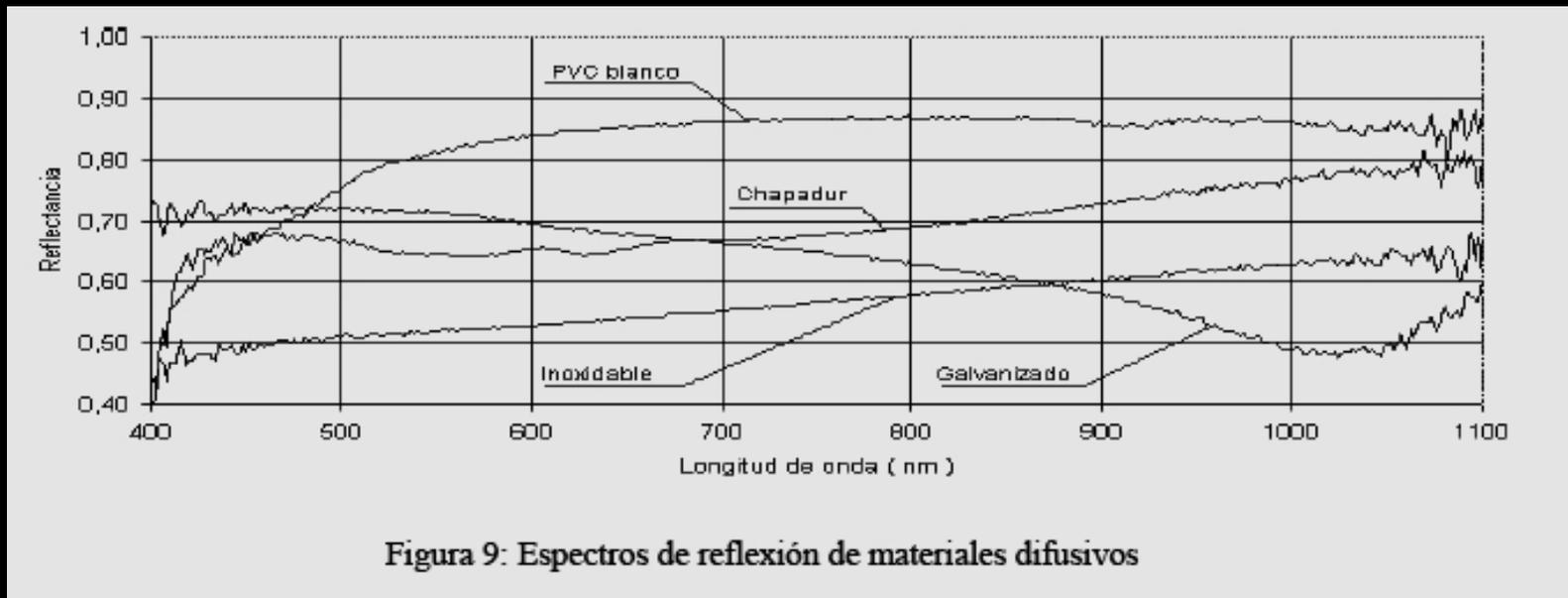
Reflectividad difusa

Estante de luz

Ganancia directa

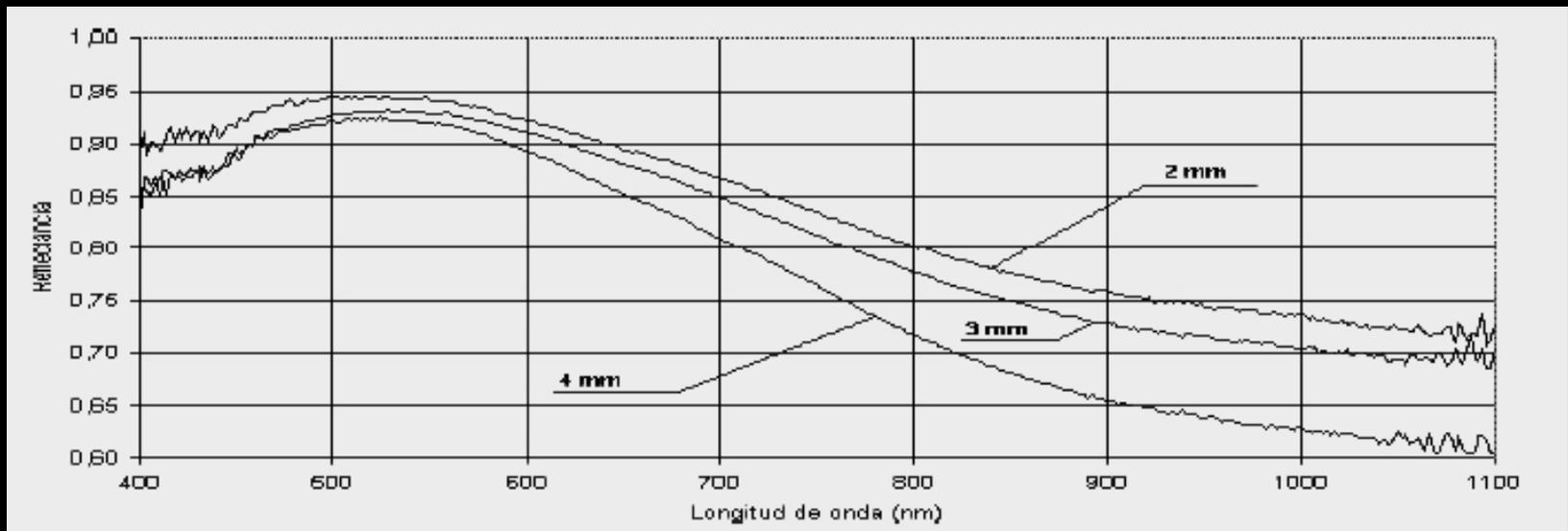


Reflectividad de materiales



Efecto del inoxidable, que es muy brillante y conserva la especularidad, pero absorbe una buena parte de radiación. El chapadur color blanco también resulta interesante como reflector.

Reflectividad de espejos



Los espejos de vidrio dependen del contenido de óxido férrico, mientras mas contenga, más verde es el vidrio y más absorción tendrá. Observar el efecto del espesor del mismo.

Cocina solar parabólica de foco profundo

Ventaja: poder cocinar fritos

Desventaja: es necesario un mayor control de cocción

Seguimiento permanente

Difícil fabricación

Posibilidad de incendio

De difícil manejo por un niño.

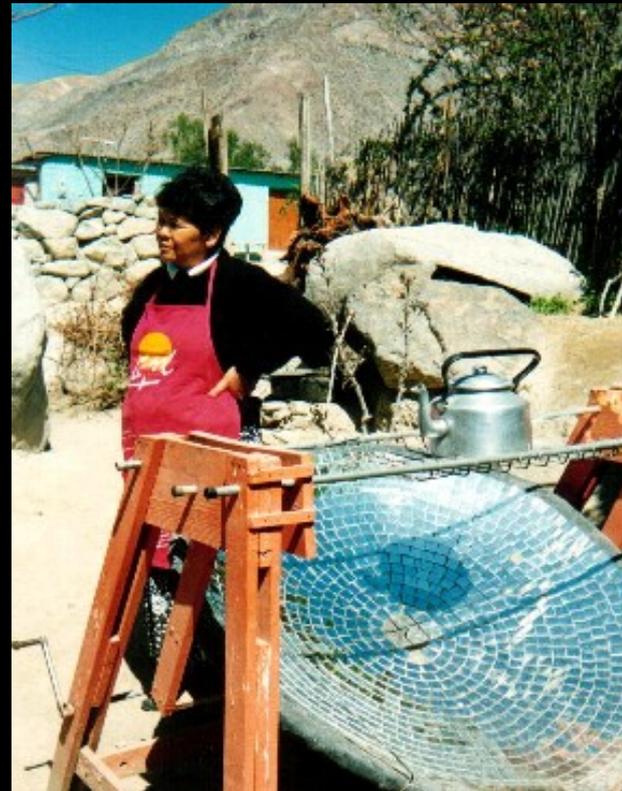
Origen: Alemania.



Cocina Solar parabólica de retazos de vidrio

**Parábolas de
retazos de
vidrio pegados
a un molde de
fibra de vidrio**

**Lugar: Villaseca
Chile**



Concentrador de Fresnel

**Concentrador de
Fresnel
del Instituto INENCO
de Salta.
Puede cocinar con
producción de vapor
Tiene mucha
potencia
Se deben agregar
controles
Peligro de incendio**



Conductividad térmica

Material	Densidad (Kg / m ³)	Conductividad Térmica (W / m C)
Poliestireno expandido	14,5	0,0036
Poliestireno expandido	19,7	0,33
Poliestireno expandido	24,7	0,32
Lana de vidrio	25	0,036
Lana de vidrio	50	0,036
Lana de vidrio	100	0,041
Espuma de poliuretano	30	0,026
Vermiculita suelta	80-130	0,07
Perlita suelta	70	0,042
Granulado volcánico	300	0,1
Granulado volcánico	600	0,16
Granulado volcánico	800	0,21
Arena seca	1300	0,6

Materiales aislantes térmicos

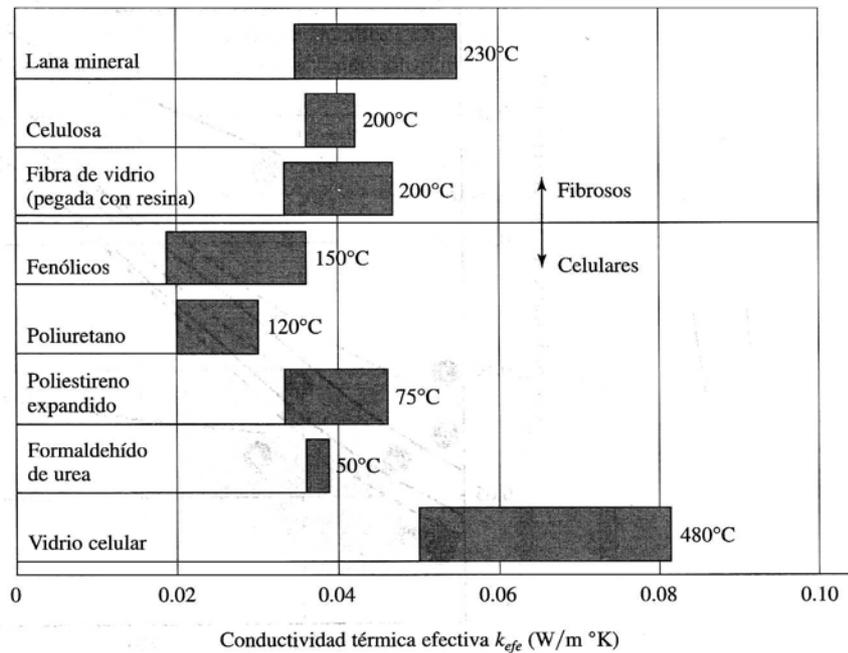


FIGURA 1.28 Intervalos de conductividad térmica de materiales aislantes fibrosos y celulares típicos. Las temperaturas de uso máximas aproximadas están a la derecha de los aislantes.

Fuente: Adaptación del *Handbook of Applied Thermal Design*, E. C. Guyer, ed., McGraw-Hill, 1989.

Aislación térmica en muros

Doble muro con aislación térmica entre ellos.

El muro interior ladrillón y estructura; muro exterior ladrillo visto vinculado estructuralmente.

Importante la barrera de vapor. $K=0.56 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$



Aislación en muros



Muro de ladrillón con poliestireno expandido.

La aislación cubre todo lo que más se pueda.

Importante la barrera de vapor.
 $K=0.68 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$



Aislación en muros

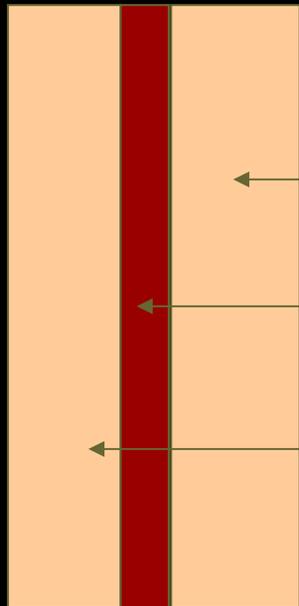


La protección
de la
aislación
térmica es de
piedra



Aislación en muros

Caso de los tabiques de hormigón visto.



Hormigón

Aislación térmica

Hormigón



Aislación de tabiques de hormigón



Aislación de tabiques de hormigón



Muro de quincha

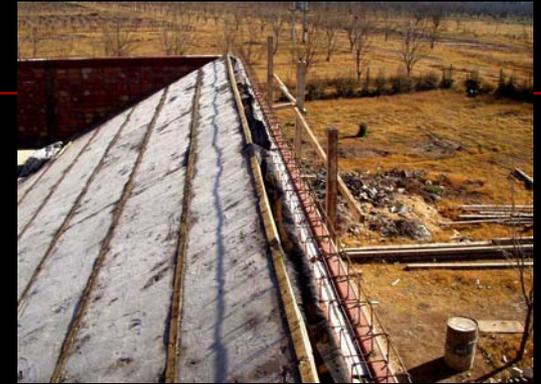


$$K = 2.4 \text{ W/m}^2\text{.}^\circ\text{C}$$

Aislación térmica del horno solar



Aislación Térmica en techos



Aislación térmica en techos



Acumulación de calor

Materiales Sólidos usados como acumuladores	Densidad	Capacidad calorífica por unidad de masa	Capacidad calorífica por unidad de volumen	Conductividad Térmica
	Kg / m ³	KJ / Kg C	KJ / m ³ C	W / m C
Alúmina	3570	0,837	2988	35,5
Aluminio	2710	0,902	2444	236
Concreto	2880	0,653	1881	1,09
Granito	2700	0,798	2155	3,2
Hierro Fundido	7210	0,46	3317	83
Piedra Caliza	2180	0,75	1635	1,5
Plomo	11210	0,13	1457	35

ACUMULACION DE CALOR SENSIBLE Y LATENTE

Materiales	Espesor [mm]	Densidad (1) [Kg/m ³]	Conductividad Térmica (1) [W/mK]	Calor Específico (1) [J/KgK]	Capacidad de almacenamiento térmico (1) [KJ/m ³ K]	Admitancia Térmica (2) [W/m ² .°C]
Piedra o granito	120	2500	2.5	860	258	47.1 (22.1)
Hormigón	120	2400	2,1	864	248	59.0 (23.2)
Ladrillo	120	1800	0,6	1000	216	34.6 (19.8)
Adobe	120	1700	0,52	1000	204	31.2 (18.7)
Agua	120	1000	0,58	4186	502	-----
Parafina (3)	20	786	0.138	2.09 x 10 ⁵	328	-----
Sulfato de sodio (3)	20	1460	0.514	2.51 x 10 ⁵	732	-----

Acumulación de calor en interiores

Vivienda solar

Con masa
térmica interior
de hormigón y
piedra. Esto
contraresta el
piso de madera



Acumulación de calor

Lecho de piedra
como
acumulador de
calor para el
secadero de
tomates



Absorción Solar

Absorptividad solar es la capacidad que tiene una superficie de absorber la energía solar y transformarla en calor, se simboliza con α

Color	α absorptividad solar	ρ reflectividad
Negro mate	0.95	0.05
Blanco	0.20	0.80
Aluminio	0.13	0.87
ladrillo visto	0.55	0.45
azul oscuro	0.55	0.45

Absorbancia Solar y Emitancia térmica

Material	Color	Tratamiento superficial Condición superficial	Absorbancia solar (α_s)	Emitancia térmica hemisférica total (ϵ_{th})
Aluminio	plata mate	como se recibe	0.28 ± 0.02	0.07 ± 0.01
	plata brillante	acabado espejo	0.24 ± 0.03	0.04 ± 0.01
Pintura aluminica	plata brillante	recubierto a mano	0.35 ± 0.02	0.56 ± 0.01
Aluminio anodizado	verde claro	anodizado en ácido oxálico al 2-4% durante 20 min con una densidad de corriente de 2.20 amp/dm ² y 5-12 V	0.55 ± 0.02	0.29 ± 0.01
Asbesto	gris	superficie seca	0.73 ± 0.02	0.89 ± 0.02
		superficie húmeda	0.92 ± 0.02	0.92 ± 0.02
Acero inoxidable austenítico AISI 321	plata mate	sin pulir	0.42 ± 0.02	0.23 ± 0.01
	gris plata	acabado espejo	0.38 ± 0.01	0.15 ± 0.01
	azul claro	pulido a espejo y químicamente oxidado durante 12 min en una solución acuosa 0.6 M de ácido sulfúrico y crómico a 90°C	0.85 ± 0.01	0.18 ± 0.01
	azul claro	térmicamente oxidado durante 10 min a 1043°K en condiciones atmosféricas normales	0.85 ± 0.03	0.14 ± 0.01

Absorción Solar

		Formas		
Ladrillos	rojo brillante	adelgazados y alisados; superficie seca	0.65 ± 0.02	0.85 ± 0.02
Cemento	gris claro	superficie húmeda	0.88 ± 0.02	0.91 ± 0.02
		un recubrimiento delgado seco sobre una placa de aluminio con acabado a espejo y ϵ_h de 0.04	0.67 ± 0.02	0.88 ± 0.02
Arcilla	gris oscura	un recubrimiento delgado seco sobre una placa de aluminio con acabado a espejo y ϵ_h de 0.04	0.76 ± 0.02	0.92 ± 0.02
Concreto	rosa claro	superficie lisa acabada a espejo no reflejante	0.65 ± 0.02	0.87 ± 0.02
Cobre	rojo claro	acabado espejo	0.27 ± 0.03	0.03 ± 0.01
Esmaltes	blanco negro azul rojo amarillo verde	aplicados a mano sobre una placa lisa acabada a espejo ϵ_h de 0.04	0.28 ± 0.02	0.90 ± 0.01
			0.93 ± 0.02	0.90 ± 0.01
			0.68 ± 0.02	0.87 ± 0.01
			0.65 ± 0.02	0.87 ± 0.01
			0.46 ± 0.02	0.88 ± 0.01
Hierro galvanizado	gris plata	acabado brillante	0.78 ± 0.02	0.90 ± 0.01
	café oscuro	muy desgastado por la intemperie y oxidado	0.39 ± 0.03	0.05 ± 0.01
Laca	incolore y transparente	placa de aluminio con acabado a espejo y ϵ_h de 0.04	0.90 ± 0.02	0.90 ± 0.02
"Makrolon"	incolore y transparente	plástico comercialmente disponible	transparente ($\tau_s = 0.88 \pm 0.02$)	0.88 ± 0.02

Sistemas Pasivos Muro Trombe y Ganancia Directa

Escuela "Yapeyú en La Jaula, San Carlos. Se puede observar muro trombe que calefacciona y el espaldero para permitir sombrear el sistema en verano.

Ganancia directa
Muro Trombe



Sistemas Pasivos de Ganancia Directa y Muro Trombe

Escuela Albergue
de El Sosneado.
Zona de
dormitorios.

Ganancia directa

Muro Trombe de
ladrillo



Sistemas Pasivos de Ganancia Directa y Muro Trombe

Vivienda Esteves
Puerto Madryn

Ganancia directa con
aislación nocturna

Muro Trombe ladrillo
con aislación
nocturna



Conclusiones

La implementación y uso de sistemas de aprovechamiento solar pueden ser de mucho impacto en el hábitat, tanto de personas con abundancia de recursos como en personas con escasez de los mismos. En un caso, permite que trabajen empresas que fabriquen los equipos y en el otro desde la autoconstrucción asistida o no. Estos aprovechamientos permitirían que los sistemas se vuelvan más autocontrolables y tiendan hacia una vida más sustentable.