

146
203-



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

“USO DE PINTURAS REFLEJANTES EN LOS
TECHOS DE LAS EDIFICACIONES PARA EL
AHORRO DE ENERGIA”

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
(AREA MECANICA)
P R E S E N T A :
RAMON SANCHEZ SOTO

DIRECTOR DE TESIS: ING. JOSE ADRIAN VALERA NEGRETE



MEXICO, D. F.

1998.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

165730



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*“ Cuando las aspiraciones del hombre son los placeres y el confort,
su vida se mantiene en la superficie.*

*Cuando lo que busca es la verdad, la belleza, la bondad y la libertad,
su camino puede ser duro, pero sentirá la vida .”*

*Para mi familia,
y principalmente a María y Antonio.*

ÍNDICE

Introducción	1
Calor y confort humano	1
Radiación	5
Capítulo I: Tipos y características de las pinturas reflejantes	12
1.1 Pinturas blancas	15
1.2 Pinturas coloreadas	18
1.3 Pinturas de aluminio	19
1.4 Comparación entre pinturas blancas y de aluminio	22
1.5 Vida útil de los recubrimientos	23
Capítulo II: Experiencias del uso de pinturas reflejantes	26
2.1 Experiencias de proyectos piloto	27
Capítulo III: Experimento demostrativo	38
3.1 Objetivo del experimento	38
3.2 Material y equipo	38
3.3 Preparación	39
3.4 Desarrollo	41
3.5 Resultados de verano	42
3.6 Resultados de invierno	49
3.7 Conclusiones del experimento demostrativo	56

Capítulo IV: Ganancia de calor por el techo y evaluación económica ...	57
4.1 Cálculo de la carga de calor por el "techo" de las cajas	57
4.1.1 Conclusiones	62
4.2 Metodología general para el cálculo de la factibilidad económica del uso de pinturas reflejantes en los techos de viviendas para la época de verano	63
4.2.1 Análisis Beneficio/Costo	65
4.2.2 Recuperación de capital	67
4.2.3 Conclusiones	68
 Capítulo V: Conclusiones generales	 70
 Referencias	 71
Bibliografía	71
Internet	73
 Lista de figuras	 74
 Lista de tablas	 75

INTRODUCCIÓN

1. Calor y confort humano

El calor tiene un profundo efecto en el hombre y su desarrollo. Cuando el cuerpo humano "siente frío", tiende a tiritar en un intento por generar más calor, y cuando "siente calor" comienza a sudar para producir los medios para un enfriamiento evaporativo adicional de la piel. Tanto sudar como tiritar son condiciones críticas que pueden ser toleradas sólo por períodos cortos. Los ambientes con temperatura superior o inferior a las condiciones óptimas causan incomodidad, ineficiencia, angustia, y en casos extremos, colapso y muerte, por lo que se tiene la necesidad de alcanzar dichas condiciones desde el punto de vista económico y humanitario.

Las principales variables que afectan la comodidad o el confort humano son:

- La temperatura de bulbo seco del aire.
- La humedad del aire.
- El movimiento del aire.
- La radiación térmica de superficies calientes, o bien la pérdida de calor del cuerpo hacia superficies frías.

En climas "fríos", el hombre tiene considerable experiencia en crear las condiciones óptimas del medio, y generalmente se reconoce que, en promedio, la gente se siente cómoda (confortable) dentro de un rango de temperatura de bulbo seco de 18 a 24°C con una velocidad del viento de alrededor de 0.13 m/s.¹

En climas "calientes", el hombre ha tenido grandes problemas para encontrar las condiciones óptimas (el rango de confort humano estándar con ropa ligera en el verano está entre 22.2°C y 25.6°C, y entre 35% y 60% de humedad relativa, de acuerdo a la *American*

¹ *Reflective Insulation and the Control of Thermal Environments* Winstone Wallboards Ltd , Nueva Zelanda

Society for Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) aunque este rango se puede extender a 27°C con un movimiento de aire modesto)² y sólo recientemente se cuenta con la tecnología que permite remover la humedad y el calor del aire para producir ambientes más confortables, pero a costa de gastos energéticos que suelen ser considerables. A pesar de ello, en todo el mundo existen millones de personas que, viviendo en áreas tropicales, no tienen posibilidad de adquirir sistemas de acondicionamiento ambiental y, en esos casos, la revisión y el control de otros factores que afectan el confort, como por ejemplo la radiación solar sobre techos y paredes, aumentan su importancia.

Al calentarse los techos y las paredes, la radiación térmica excesiva desde sus superficies puede ser extremadamente incómoda, particularmente en un ambiente caliente, porque puede incrementar la temperatura global del recinto, además que este mecanismo hace que el cuerpo humano sienta un "foco de calor" porque recibe la radiación desde una sola dirección; es por esto que la radiación tiene una propiedad direccional indeseable que afecta el confort humano.

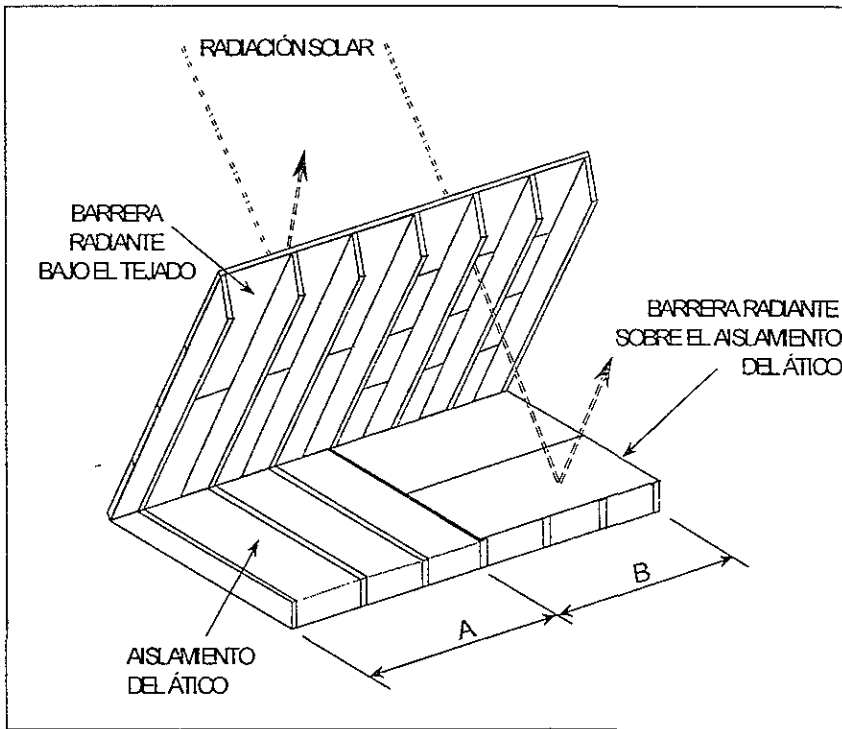
Para disminuir la cantidad de calor que se transfiere a través de los techos, se puede aumentar la resistencia térmica de los techos, pero ésta suele ser una opción cara. Otra opción es usar recubrimientos para el techo que rechacen la radiación solar antes de que sea absorbida por el mismo (**pinturas reflejantes**), o bien se pueden usar *barreras radiantes* que no permitan el paso del calor hacia la habitación

Las barreras radiantes son hojas de aluminio que se utilizan principalmente en las casas con ático, colocadas junto a un "espacio de aire", para reflejar el calor transferido por radiación entre una superficie radiante de calor (como un techo caliente) y una superficie "absorbedora de calor" (como un aislamiento de ático convencional); ver la **Figura 1**. Aunque no es propiamente un recubrimiento, por su espesor mínimo éste material no agrega una resistencia térmica considerable al sistema y sí disminuye el paso de la radiación térmica

El comportamiento de las barreras radiantes es diferente al de las pinturas reflejantes, ya que generalmente no se colocan a la radiación solar directa, sino abajo de otros materiales

² Wilson, Consumer Guide to Home Energy Savings

Figura 1. Colocación de barreras radiantes.



que reemiten la radiación, pero ya no en el mismo rango de la radiación solar, sino en el rango infrarrojo. Ya que el aluminio tiene gran reflectancia en este rango, puede rechazar el calor para que se lo lleve el aire que pasa por el “espacio de aire” entre el aislamiento y el tejado; y por su baja emitancia tampoco rechaza el calor hacia la parte acondicionada sino en una mínima cantidad.

Cuando se usan hojas de aluminio como barreras radiantes en áticos, se pueden colocar con la parte del aluminio hacia arriba o hacia abajo. Cuando se colocan mirando hacia arriba, la hoja de aluminio verá deteriorada su reflectancia por el polvo, que se puede arraigar a la superficie a través del tiempo. Así, si se espera la presencia de polvo, entonces todas las hojas colocadas hacia arriba deben considerarse como no-reflejtantes, mientras que las superficies verticales y orientadas hacia abajo no se afectan por el polvo³.

³ Idem 1

En la **Tabla 1** se puede ver la reducción de la carga térmica total —no sólo la del flujo de calor por el techo— de enfriamiento (en verano) y calefacción (en invierno) de un experimento realizado en casas deshabitadas localizadas en Karns, Tennessee, E.U.A. El experimento se desarrolló durante dos semanas tanto en verano como en invierno, colocando barreras radiantes (láminas delgadas de aluminio) horizontalmente en el aislamiento del ático o directamente en la estructura, bajo el techado; se debe notar que las casas tenían de por sí aislamientos térmicos.

Tabla 1. Reducción de carga térmica total. Experimento en Karns, Tennessee.

PERÍODO	AISLAMIENTO EXISTENTE R-x (m ² °C/W) ⁴	LOCALIZACIÓN DE LA BARRERA RADIANTE	REDUCCIÓN DE CARGA TÉRMICA TOTAL [%]
Verano 1985	R-19 (10.83)	Horizontal	21
	R-19 (10.83)	Estructura	13
Verano 1986	R-11 (6.27)	Horizontal	16
	R-11 (6.27)	Estructura	11
	R-30 (17.1)	Horizontal	2
	R-30 (17.1)	Estructura	-0.7
Invierno 85-86	R-19 (10.83)	Horizontal	10
	R-19 (10.83)	Estructura	-3
Invierno 86-87	R-11 (6.27)	Horizontal	9
	R-11 (6.27)	Estructura	-1
	R-30 (17.1)	Horizontal	4
	R-30 (17.1)	Estructura	3

Referencia: *Temperature Reduction and Energy Savings Using Reflective Foil in the Roof (Research Report)* Duroid Ltd, Nueva Zelanda, 1993.

En esta tabla se observa que se obtienen mejores resultados cuando el recubrimiento se coloca horizontalmente sobre el aislamiento del ático y que el efecto del recubrimiento es

⁴ R-x (valor de R) es la resistencia (térmica) de un material al flujo de calor a través de él, es el opuesto de la conductividad térmica k. Mientras mayor sea el valor de R, mejor es el aislamiento térmico. En sistema inglés el R-x se expresa en [ft² hr °F/Btu], mientras que en el métrico en [m² °C/W].

mejor en las construcciones que tienen menor aislamiento térmico. Esto se puede explicar, por ejemplo, si tenemos en cuenta que en un muro adecuadamente aislado el efecto que pueda desprenderse de la temperatura superficial es insignificante. También se muestra que, en general, el "aumento" de carga térmica en invierno es menor a la reducción de carga en verano, como se puede ver en la **Tabla 1** (sin olvidar que en este experimento se tenían aislantes térmicos extra y que las casas no estaban habitadas).

La reducción neta de carga térmica, considerando tanto la reducción en verano como la "reducción" en invierno, resultan siempre positivas, sin embargo estos ahorros no son siempre significativos.

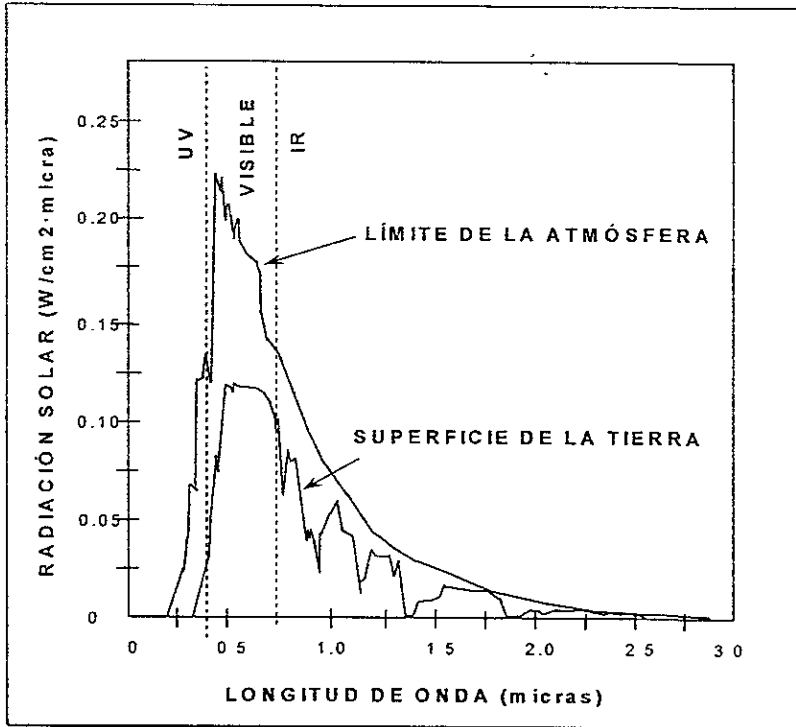
Por otro lado, las pinturas reflejantes pueden ser una opción más viable, debido a que se pueden aplicar en una gran variedad de sustratos sin tener que hacer una gran inversión ni cambios estructurales en la vivienda.

Así, las pinturas reflejantes sirven en los techos de las viviendas para rechazar el calor directo del sol en climas extremos, de manera que los equipos de aire acondicionado disminuyan su tiempo de funcionamiento y la temperatura interior se mantenga más estable, con el correspondiente mejoramiento de la comodidad interior. En este trabajo se busca analizar la conveniencia y la rentabilidad del uso de pinturas reflejantes para disminuir la carga térmica en una vivienda.

2. Radiación

La radiación solar está formada por ondas electromagnéticas de diferentes longitudes de onda entre las que se encuentra la radiación térmica (1×10^{-1} a 1×10^2 μm), que a su vez está formada por la radiación visible, parte de la ultravioleta y la infrarroja⁵. La **Figura 2** muestra la intensidad relativa de la radiación electromagnética recibida afuera de la atmósfera terrestre como función de la longitud de onda. Alrededor del 9% de la radiación es ultravioleta, o de longitud de onda muy corta, cerca de 40% está en la región visible y como un 50% es

Figura 2. Espectro de la radiación solar.



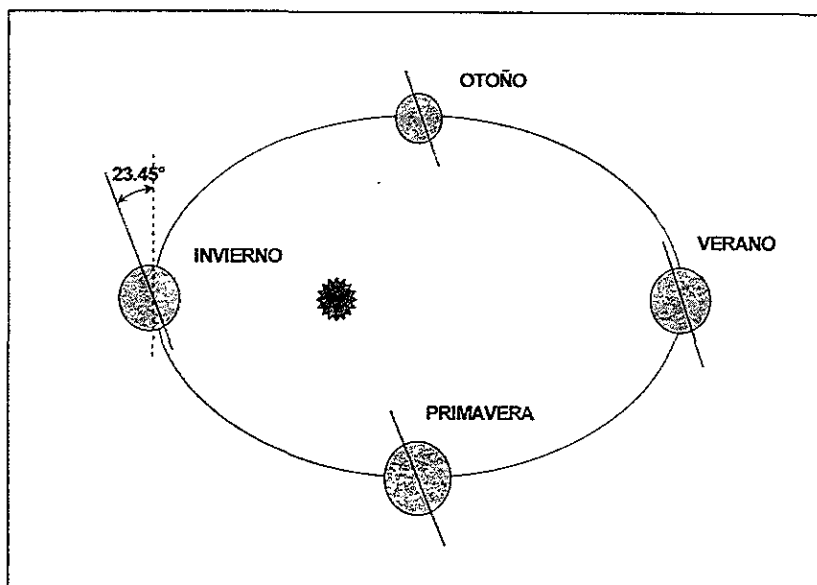
infrarroja o de longitud de onda larga⁶. Sin embargo, sólo alrededor de la mitad de esta radiación alcanza la superficie de la tierra, porque "dentro de la atmósfera, la radiación solar es reflejada, dispersada y absorbida por los componentes usuales de aquélla, como son el oxígeno (O_2), el bióxido de carbono (CO_2), el ozono (O_3), el nitrógeno (N_2), el agua (H_2O) y las partículas de polvo. La radiación solar que sufre estos efectos es la que tiene una longitud de onda entre $0.29 \mu\text{m}$ y $2.5 \mu\text{m}$, ya que casi toda la radiación fuera de este intervalo es dispersada y absorbida de inmediato. La radiación de onda corta (ultravioleta) se absorbe principalmente por el ozono, mientras que la radiación de onda larga se absorbe por el vapor de agua. La radiación reflejada y dispersada se convierte en radiación difusa y la que continúa su camino es la directa"⁷.

⁵ Incropera y DeWitt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, Edit. John Wiley & Sons, E.U.A., 1990.

⁶ Roger A. Hinrichs, *Energy*, Edit. Saunders College Publishing, E.U.A., 1991.

⁷ Rafael Almanza y Felipe Muñoz, *Ingeniería de la energía solar*, El Colegio Nacional, México, 1994.

Figura 3. Movimiento de la tierra alrededor del sol.

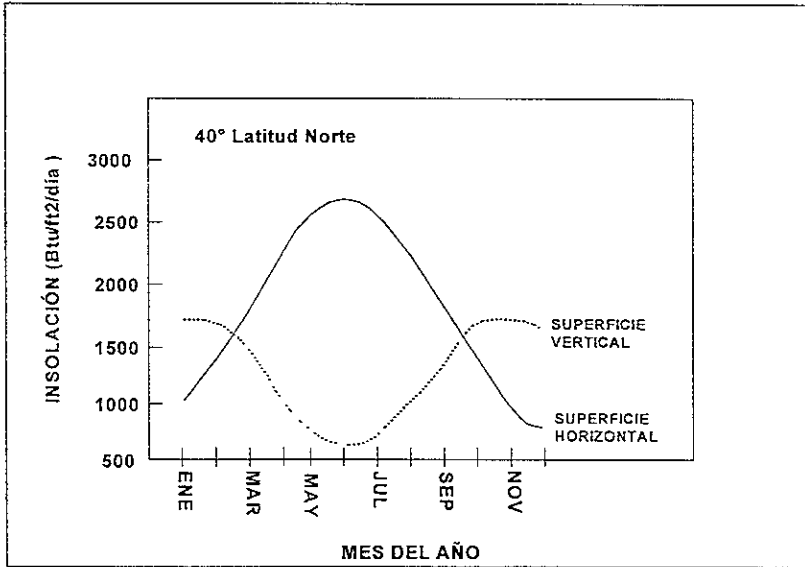


La cantidad de radiación solar (insolación) que alcanza la atmósfera exterior de la tierra es de 1360 W/m^2 . Este número, llamado la *constante solar*, varía sólo ligeramente con el tiempo. La insolación recibida en cualquier lugar particular de la superficie de la tierra puede variar entre cero y 1050 W/m^2 , dependiendo de la latitud, la estación del año, la hora del día y el grado de nubosidad, principalmente. Por ejemplo, la radiación directa en la ciudad de México (una de las cinco principales ciudades del mundo que reciben mayor cantidad de radiación solar⁵) en un día claro de verano alrededor del mediodía es de $700 \text{ [W/m}^2\text{]}$.⁶ Los primeros dos factores se deben a la geometría de la órbita de la tierra alrededor del sol (movimiento de traslación), ya que ésta es casi circular, pero el eje alrededor del que gira la tierra en sí misma (movimiento de rotación) está inclinado con relación a su plano de movimiento a un ángulo de 23.45° . Ver la Figura 3.

Por consiguiente, el Polo Norte está inclinado hacia el sol durante el verano del hemisferio norte (hemisferio donde se encuentra México) y opuesto al sol en el invierno. Por lo tanto, el hemisferio norte está expuesto a más horas de radiación solar en el verano

⁵ Juan Tonda, El Oro solar y otras fuentes de energía, FCE, México, 1993

Figura 4. Insolación diaria en días despejados a lo largo del año para una superficie horizontal y una superficie vertical.



(alcanzando un máximo el 22 de junio, el solsticio de verano), y la cantidad de radiación solar que llega a una superficie horizontal es más grande en verano que en invierno, cuando los rayos solares deben pasar a través de una mayor profundidad de atmósfera, de manera que menos radiación alcanza la tierra por los efectos de absorción y dispersión. Y por esta misma razón, en invierno se tiene una necesidad mayor de calor para mantener una temperatura confortable en las viviendas.

La insolación que alcanza una superficie está compuesta de un haz directo del sol, una componente difusa (la radiación dispersada por las nubes y la que llega del mismo cielo), y una componente reflejada (la radiación dispersada por el suelo y otras superficies). Cuando la insolación se mide en una superficie horizontal, la radiación reflejada por el suelo que incide sobre dicha superficie es cero, mientras que para una superficie inclinada con respecto a la horizontal las tres componentes varían con el ángulo de inclinación. Así, en invierno, cuando el sol está más bajo en el cielo (a una menor altitud), la insolación sobre una superficie vertical será mayor que sobre una superficie horizontal. Mientras que en verano es verdad el fenómeno opuesto (ver la Figura 4)

La radiación solar, cuando incide sobre la materia, manifiesta diversos efectos, como son: la conversión de radiación en calor al absorberse ésta, la reflexión y la transmisión de radiación.

La totalidad de la radiación solar incidente sobre un objeto, se distribuye de las tres maneras siguientes. Si I representa la intensidad de energía total incidente, establecemos la ecuación:

$$I = \alpha I + \rho I + \tau I \quad (\text{Ec. 1})$$

en donde α , ρ y τ representan los porcentajes de energía absorbida, reflejada y transmitida por el cuerpo, respectivamente.

La ecuación anterior también se puede escribir de la siguiente manera:

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (\text{Ec. 2})$$

y a estas tres cantidades α , ρ y τ se les conoce como absorptancia, reflectancia y transmitancia, respectivamente⁹.

Algunos casos particulares de la ecuación última (Ec. 2) surgen al dar valores específicos a los parámetros de esta ecuación. Por ejemplo, un espejo perfecto (idealización) será aquel que refleja toda la radiación que incide en su superficie, de tal manera que no absorberá ni transmitirá radiación.

Sin embargo, todos los cuerpos reales no reflejan la totalidad de la radiación incidente, sino que absorben un porcentaje determinado, variable de acuerdo a las cualidades de su superficie.

Se llama "cuerpo opaco" a un objeto que no transmite radiación a través de él (este es el caso general de los techos de viviendas), es decir, que $\tau = 0$ y la ecuación se convierte en:

$$\alpha + \rho = 1 \quad (\text{Ec. 3})$$

⁹ Se usan estos términos generales, ya que los términos *absortividad* y *reflectividad* están restringidos para ser aplicados a materiales con superficies ópticamente planas y opacas (Anteproyecto de NOM-000-SEDESOL-1993)

Así, *reflectancia* es la cantidad de radiación térmica que rechaza un material comparada con la totalidad de lo recibido en su superficie, de manera que una sustancia reflejante se considera a aquella que rechaza mucha (más del 50%) de la radiación térmica que acepta en su superficie.

Los colores que mejor reflexión tienen son los colores claros, de manera que para pinturas reflejantes se utilizan principalmente pigmentos blancos, sin embargo las pinturas no deben ser necesariamente blancas, ya que hay otros materiales que, a pesar de su color, tienen muy buenas propiedades de reflexión dentro del rango de la radiación térmica, como el aluminio (ver **Figura 5**).

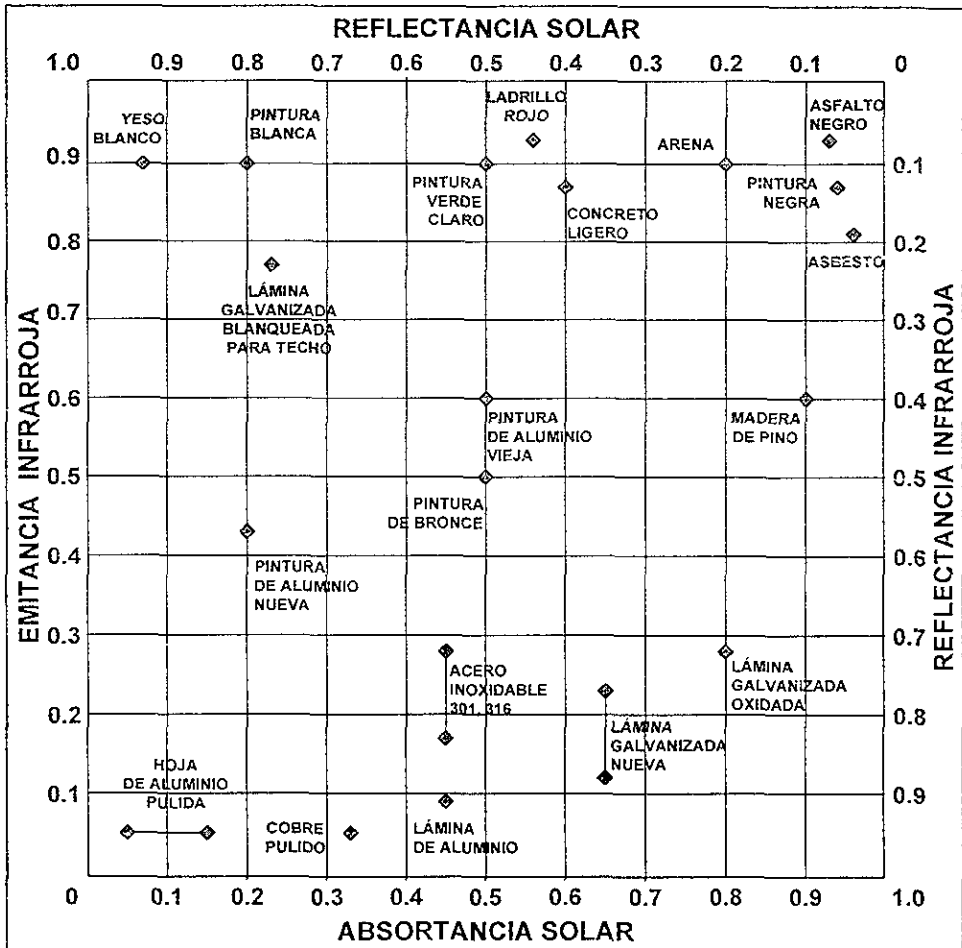
Por otro lado, un término importante para este estudio es la *emitancia*¹⁰, que se define como la razón entre la energía total emitida por una superficie y la energía total emitida por una superficie negra a la misma temperatura, por lo que depende directamente de la temperatura propia del material y no de la radiación incidente. La *emitancia* indica la energía que cede el material al medio, dependiendo de su temperatura

Algunos materiales, y más exactamente ciertas superficies de materiales reflejan la radiación solar de modo similar, mientras que la capacidad de disipar el calor absorbido no sigue pausas semejantes. La ley física que confirma que un “*buen absorbente*” de calor es un “*buen emisor*” no es aplicable sino para iguales longitudes de onda, y lo podemos ver en la **Figura 5** con la emitancia infrarroja y la reflectancia infrarroja —que es precisamente uno menos la absorptancia infrarroja—. Así, por ejemplo, una lámina de aluminio tiene una emitancia infrarroja de 0.1 y una absorptancia infrarroja de 0.9 ($\alpha_{IR} = 1 - \rho_{IR} = 1.0 - 0.9 = 0.1$) o una pintura blanca tiene una emitancia infrarroja de 0.9 y una absorptancia infrarroja de 0.1 ($1.0 - 0.9 = 0.1$).

Como ya se dijo, la radiación solar está compuesta por diferentes longitudes de onda, incluyendo de onda corta (inferiores a $0.3 \mu\text{m}$), pero la radiación térmica emitida por las superficies a temperaturas normales está compuesta por infrarrojos de onda larga (del orden de $10 \mu\text{m}$). La pintura blanca, por ejemplo, es un pobre absorbente de radiación solar (buena

¹⁰ Se utiliza este término general, porque el término de *emisividad* está restringido para ser aplicado a materiales que tengan su superficie ópticamente plana y opaca

Figura 5. Características solares e infrarrojas de algunos materiales opacos.



reflejante), pero no de onda larga, ya que prácticamente es tan buena como la pintura negra. Es un *cuerpo selectivo frío* que tiende a enfriarse en condiciones favorables. En cambio, una superficie pulimentada de aluminio absorbe poca radiación solar (buena reflejante), pero no es buena emisora de calor (baja emitancia), como se puede ver en la **Figura 5**.

Capítulo I

TIPOS Y CARACTERÍSTICAS DE LAS PINTURAS REFLEJANTES

Los productos obtenidos en la industria de pinturas se destinan fundamentalmente para la protección y la decoración en diferentes industrias como la de la construcción. La mayor parte de los recubrimientos destinados al mantenimiento y a la conservación empleados en construcciones e instalaciones industriales se consideran como formas especializadas de la industria de las pinturas, por las condiciones ambientales a las que se someten dichos recubrimientos

Una pintura es un producto que permanece en estado líquido en el envase, casi indefinidamente, pero que cuando se extiende convenientemente sobre una superficie, queda transformado en pocas horas en un recubrimiento tenaz y duradero que protege y decora durante varios años. Según la designación **D 16-47** de las normas de *la American Society for Testing and Materials* (ASTM), se define a la pintura como una "composición líquida pigmentada que se convierte en una película sólida y relativamente opaca después de su aplicación en capa fina".

Por otro lado, *pigmento* se define como "finas partículas sólidas empleadas en la fabricación de pinturas y fundamentalmente insolubles en el vehículo". El vehículo es la porción líquida completa de una pintura que incluye el contenido sólido del barniz que corresponde al aglomerante del pigmento y producto formador de película, el disolvente volátil y cualquier otro producto disuelto que se halle en la fase líquida

Las propiedades de color y opacidad de una pintura le son impartidas por el pigmento, pero según puede observarse en la definición anterior, no se requiere necesariamente de los pigmentos que tengan color o infieran opacidad, ya que existen "finas partículas sólidas" que son utilizadas como pigmentos a pesar de resultar, cuando se incorporan a la pintura,

prácticamente incoloras y transparentes. Estos pigmentos faltos de opacidad se denominan “pigmentos extendedores” o “cargas”, denominación ésta que les viene por haber sido usados originalmente con el exclusivo fin de rebajar el costo de materias primas en las pinturas; sin embargo, en la actualidad se usan muchos extendedores o cargas especiales como producto que confiere a la película final propiedades específicas beneficiosas

Cuando la luz incide sobre una superficie pintada, puede seguir diferentes caminos, pero normalmente se distribuye por uno u otro según las características de opacidad, transparencia, color, brillo, etc., inherentes a la película seca del recubrimiento final. Estas características son las que determinan si la luz ha de ser transmitida, reflejada, absorbida, refractada¹¹, etc., o si seguirá varios de estos efectos al mismo tiempo

Los recubrimientos transparentes reflejan desde su superficie una pequeña cantidad de luz en forma de brillo, ya que la mayor parte se transmite a través de la película llegando hasta el sustrato sobre el que está aplicada. Si por el contrario, la película del recubrimiento está pigmentada, la luz que incide sobre ellas puede ser absorbida o devuelta por reflexión al ojo humano desde el interior de la película misma. El comportamiento particular de la luz dependerá en cada caso de la naturaleza del pigmento y del porcentaje presente del mismo, resultando independiente de la naturaleza y el color del sustrato sobre el que se halle aplicado el recubrimiento en aquellos casos en que el poder cubriente¹² del mismo sea completo. Los pigmentos coloreados absorberán determinadas longitudes de onda de la luz que incida sobre ellos y reflejarán aquellas otras, características en cada caso, según el color del pigmento que se trate

Igualmente, los recubrimientos pueden difractar¹³ la luz en el interior de la película de pintura impidiendo con ello el que ésta alcance el sustrato sobre el que se encuentra aplicada antes de que sea reenviada al observador. También existe una parte reflejada en forma de brillo desde la superficie de la película de las pinturas pigmentadas y que resulta equivalente a

¹¹ Refracción es el cambio de dirección que experimenta la luz al pasar de un medio a otro.

¹² Debe tenerse cuidado en distinguir entre el poder cubriente y el rendimiento de una pintura. El poder cubriente es la superficie cubierta por un volumen determinado de pintura aplicada con un espesor suficiente para producir una cobertura completa de la misma

¹³ Difracción es la desviación de la luz al rozar los bordes de un cuerpo opaco

la reflexión que tiene lugar en las películas transparentes. Otro importante factor es la proximidad de las partículas de pigmento entre sí, es decir, la relación entre las cantidades de pigmento y aglomerante.

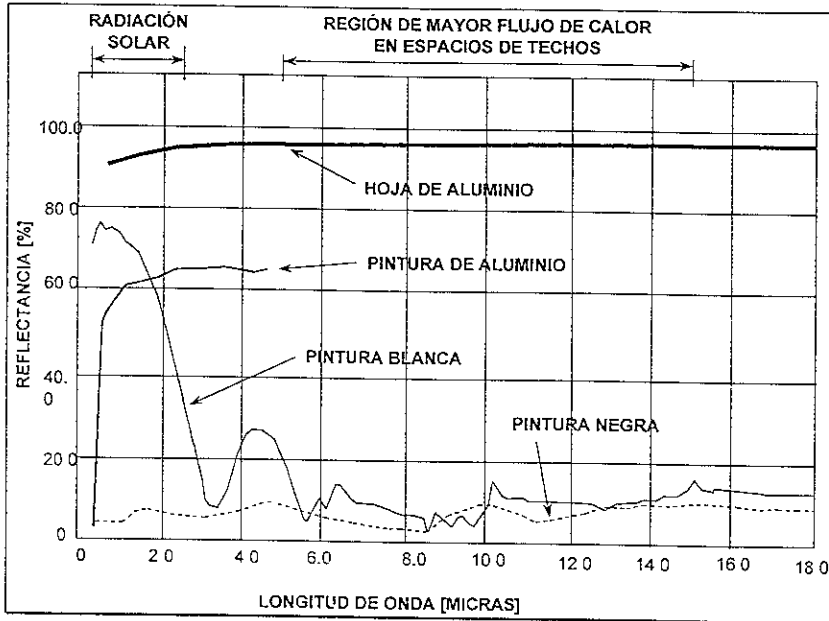
La diferencia esencial existente entre superficies blancas, negras y de otros colores estriba en la cantidad y tipo de luz que es reflejada por ellas. Cuando se refleja casi la totalidad de la luz incidente, la superficie se nos aparece de color blanco; cuando la mayor parte es absorbida el color percibido es el negro, y cuando se absorben ciertas longitudes de onda selectivamente, mientras son reflejadas las restantes, la superficie en cuestión es vista con el color correspondiente a las longitudes de onda reflejadas por ella.

Hasta aquí se ha hablado de la parte visible del espectro, que es lo que determina el color de las pinturas, pero ya se sabe que la radiación térmica no sólo está formada por la parte visible, sino que incluye las radiaciones *infrarroja* y *ultravioleta*, por lo que el comportamiento de las pinturas en estos dos rangos también es importante y, como muestra en la **Figura 1.1**, la reflectancia de diferentes pinturas y una hoja de aluminio pulida, cambia a lo largo de las diferentes longitudes del espectro electromagnético.

Para el presente estudio la parte más importante es la típica de la radiación solar que incide en las superficies de los techos —porque representa aproximadamente el 75% de la incidencia de energía solar en una vivienda de hasta dos niveles en verano— por lo que podemos inmediatamente observar de la figura que tanto la pintura blanca como la pintura de aluminio son buenas reflectoras de la radiación solar, y que la de color negro, como pasa con la parte visible, absorbe la mayor parte de la energía que recibe por radiación. También en la **Figura 1.1** se indica el comportamiento de las hojas de aluminio que se utilizan como *barreras radiantes*.

A continuación se señalan algunas características especiales de las pinturas blancas, coloreadas y de aluminio.

Figura 1.1. Reflectancia de diferentes superficies.



1.1. Pinturas Blancas

Los recubrimientos blancos para techos contienen materiales poliméricos transparentes, como el acrílico, y un pigmento blanco, como el bióxido de titanio, para hacerlos opacos y reflejantes. Otros pigmentos blancos usados son diferentes formas del bióxido de titanio y del bióxido de cinc. Además, estas pinturas deben contar con características especiales para que soporten las condiciones de trabajo a que están sometidas, como son los bruscos cambios de temperatura y la intemperie. Estos recubrimientos generalmente reflejan del 70% al 83% de la energía solar recibida. A pesar de la apariencia blanca, estos pigmentos absorben alrededor del 5% de la energía en el rango del ultravioleta. Así, los pigmentos ayudan a proteger el material polimérico y el substrato interior del daño de las rayos ultravioleta.

Hay muchas compañías dedicadas a la fabricación de pinturas blancas reflejantes, entre las que encontramos a *Somay* (Estados Unidos de América, E.U.A.) que fabrica pinturas de látex acrílico para techos de superficies planas con vida estimada de 18 a 24 meses como

impermeabilizante, la *Innovative Formulations Corporation* (E.U.A.) con su producto llamado *Mirror Seal*, la compañía *Pinturas Industriales de Salamanca, S.A. de C.V.* (México) con su producto llamado *Thermo-Aislant*, etc.

El *Mirror Seal* es un recubrimiento de emulsión color blanco base agua, formulado como reflector para mantener temperaturas interiores confortables a costos reducidos. Algunas pruebas indican que este producto refleja hasta un 82% de la radiación térmica, con lo que se logra reducir la diferencia de temperatura entre la superficie del techo y la temperatura del ambiente exterior hasta 17°C, y las contracciones y expansiones del techo son mínimas. Este producto necesita de una aplicación especializada, junto con otras sustancias y con materiales y dispositivos especiales, bajo condiciones climáticas específicas para lograr su mejor desempeño.

Thermo-Aislant es un recubrimiento emulsionado en agua en base cerámica con inhibidores de corrosión, elastómeros y con características altamente impermeabilizantes, de color blanco ostión. Tiene una gran adherencia y resiste grandemente el intemperismo. Refleja el 82% de los rayos ultravioleta del sol (que son la parte de la radiación de más potencia térmica por tener la menor longitud de onda, ver la **Figura 2**) y permite garantizar una diferencia de temperatura del techo con respecto a la temperatura exterior de 18°C en la época de mayor insolación. Se puede aplicar por gente sin especialización, manualmente o por aspersión, a temperaturas ambientales entre 2°C y 60°C bajo condiciones menos estrictas que otros recubrimientos, y sobre una amplia gama de superficies (substratos).

En la **Tabla 1.1** se enlistan algunos datos obtenidos en el *Oak Ridge*¹⁴ sobre recubrimientos blancos.

La "diferencia de temperatura entre el techo y el ambiente exterior" (ΔT) se refiere a la diferencia máxima de temperatura que se tendría entre la superficie exterior del techo y la temperatura del aire exterior, en todos los casos.

¹⁴ El Laboratorio Nacional *Oak Ridge* es un laboratorio manejado por el Departamento de Energía de E U A

Tabla 1.1. Características de pinturas blancas.

PRODUCTO	REFLECTANCIA SOLAR	EMITANCIA INFRARROJA	DIFERENCIA DE TEMPERATURA ENTRE EL TECHO Y EL AMBIENTE EXTERIOR (ΔT) [°C]
Pintura blanca común (76.2 μm)	0.60	0.91	19
Pintura blanca común (191 μm)	0.72	0.91	13
Pintura blanca común (356 μm)	0.77	0.91	10
Pintura blanca común (660 μm)	0.79	0.91	9
Recubrimiento blanco (una mano, 203 μm)	0.80	0.91	8
Recubrimiento blanco (dos manos, 508 μm)	0.85	0.91	6
<i>Acryshiel, National Coatings</i>	0.83	0.90	7
<i>Utrecht Acrilic Titanium White</i>	0.83	0.91	7
<i>Koolseal Elastomeric</i>	0.81	0.91	8

Referencia: Heat Island Group, página de Internet.

Estos recubrimientos se aplican en espesores considerablemente mayores que las pinturas para usos típicos, llegando hasta 1 mm de espesor. Algunos datos de la tabla anterior muestran cómo la reflectancia se incrementa con el espesor. Naturalmente, el sustrato debe estar limpio y ser compatible con el sistema de recubrimiento. Para alcanzar los mayores valores de reflectancia se requiere suficiente pigmento y un sustrato liso. Si el sustrato tiene un color claro de por sí, se puede hacer más reflejante con menos pigmento, por lo tanto se haría un menor gasto.

Por otro lado, los productos en la tabla muestran que la reflectancia siempre es mayor de 50%, por lo que se considera a todas las pinturas blancas nuevas como reflejantes.

1.2. Pinturas coloreadas

Los recubrimientos de colores diferentes al blanco, especialmente los colores claros, se producen generalmente agregando colorantes a los recubrimientos blancos. Así, comparando entre pinturas coloreadas y blancas, el blanco es generalmente el color menos caro. Normalmente el proceso de coloración reduce grandemente la reflectancia solar. La siguiente tabla muestra los valores de reflectancia medidos por Craig Smith en recubrimientos formulados por *SPM Thermo-Shield, Inc.* de Custer, SD

Tabla 1.2. Características de pinturas coloreadas.

COLOR DEL PRODUCTO	REFLECTANCIA SOLAR	EMITANCIA INFRARROJA	ΔT [°C]
Algodón virgen (una mano, 203 μm)	0.74	0.91	12
Algodón virgen (dos manos, 660 μm)	0.79	0.91	9
Rojo barro (una mano, 254 μm)	0.16	0.91	44
Rojo barro (dos manos, 560 μm)	0.17	0.91	43
Verde (una mano, 203 μm)	0.15	0.91	44
Verde (dos manos, 457 μm)	0.16	0.91	44
Azul carbón (una mano, 406 μm)	0.12	0.91	46

Azul carbón (dos manos, 813 μm)	0.12	0.91	46
Azul carbón (tres manos, 2184 μm)	0.67	0.91	16
Estuco blanco (una mano, 914 μm)	0.60	0.91	19

Referencia: *Heat Island Group*, página en Internet.

Se nota que el color "algodón virgen" es bastante reflejante; este es un color amarillo claro. Es aún más reflejante que el color "estuco blanco", un recubrimiento grueso con textura burda. Los colores rojo, verde y azul oscuros tienen reflectancia menor al 20%, con excepción del azul carbón cuando se aplicaron tres manos, cuando la reflectancia alcanzó el 67%. Así, se observa de nuevo el efecto del incremento de la reflectancia por el aumento del espesor del recubrimiento.

1.3. Pinturas de Aluminio

En general, las pinturas de aluminio son mezclas de polvo fino de aluminio u hojuelas de aluminio y soluciones de goma-laca en agua, resultando pinturas metálicas que cubren muy bien. El aluminio tiende a acumularse en la porción superior expuesta del recubrimiento, por lo que la superficie exterior es casi una capa continua de aluminio, que protege al material asfáltico de los rayos ultravioleta del sol. Los pigmentos de aluminio poseen muchas de las características de este metal, dependiendo del tratamiento que se les dé, por ejemplo, se pulen las pequeñas hojuelas de aluminio y se tratan superficialmente de manera que adquieran una buena resistencia a la corrosión y una alta reflectancia (la reflectancia del aluminio alcanza hasta un 80% en pinturas nuevas, comparada con el 95% de las láminas pulidas), no sólo en el rango de la luz visible, sino también para la radiación infrarroja y la radiación ultravioleta, manteniendo una apariencia brillante. Sin embargo, aunque un 80% de reflectancia solar es una gran mejora en comparación con una pintura negra, el contenido de aluminio tiene el efecto adverso de poseer una menor emitancia infrarroja ($\epsilon = 0.40$), por lo que se mantiene el

techo con recubrimiento aluminizado más caliente que otro con recubrimiento blanco ($\epsilon = 0.90$) que tuviera la misma reflectancia, por ejemplo.

La *American Society for Testing and Materials* (ASTM) ha clasificado los pigmentos de aluminio en tres clases: Clase A para grados finos, clase B para grados medios y clase C para grados toscos (hojuelas grandes), dependiendo de la distribución y tamaño de las hojuelas de aluminio en el solvente. Como regla general, cuando uno se mueve de un grado tosco a uno fino el brillo y el poder de recubrimiento aumentan, mientras la reflectancia total decrece, como se puede observar en la **Tabla 1.3**.

Tabla 1.3. Poder cubriente contra reflectancia de pinturas de aluminio.

VARIEDAD DE PIGMENTO	PODER CUBRIENTE [cm ² /g]	REFLECTANCIA TOTAL
MD 462 Grado barniz	8000	0.72
MD 466 Lustre barniz	8000	0.72
MD 565 Lining normal	15000	0.70
MD 565 W brillo normal	17000	0.70
MD 566 Lustre normal	18000	0.70
MD 766 Lining extra fino	25000	0.62
MD 769 Lustre extra fino	25000	0.58

Referencia: Metals Desintegrating Co.

Una regla general para establecer la cantidad de pasta de aluminio para usar tanto en pinturas para exteriores como en pinturas para interiores es la siguiente:

Tabla 1.4. Concentraciones recomendadas para pinturas de aluminio.

CLASE DE PIGMENTO	CONCENTRACIÓN [kg/l _{solvente}]
A	0.1438
B	0.2876
C	0.4314

Referencia *Aluminum Pigments and pastes*, Metales Atomizados S.A., México

En la siguiente tabla podemos ver diferentes tipos de pinturas de aluminio usadas comúnmente:

Tabla 1.5. Características de pinturas de aluminio.

PRODUCTO	REFLECTANCIA SOLAR	EMITANCIA INFRARROJA	ΔT [°C]
<i>Premium Nonfibered</i> sobre superficie negra	0.56	0.41	28
<i>Premium Nonfibered</i> sobre superficie rugosa	0.55	0.42	28
Emulsión sobre superficie rugosa	0.30	0.67	40
Pintura nueva común	0.80	0.42	19

Referencia: Página en Internet del *Heat Island Group*.

Un punto importante de esta tabla es la dependencia de las propiedades al cambiar la superficie donde se aplica, además que cambia sus propiedades al avejantarse, como también se puede ver en la **Figura 2**. En general, las pinturas nuevas de aluminio tienen una reflectancia mayor de 50%, y también se consideran reflejantes.

Una de las ventajas de las pinturas de aluminio es que son más baratas que las pinturas blancas, aunque no tanto como los impermeabilizantes asfálticos negros. Por ejemplo, en julio de 1998 se tenían los siguientes precios para las siguientes pinturas, sin incluir el precio de aplicación:

Tabla 1.6. Precios de recubrimientos de diferentes colores.

COLOR	NOMBRE	TIPO	PRECIO [\$/m ²]
Negro	Imperaga	Impermeabilizante asfáltico bituminoso	1.53
	Tawer-Imper E	Impermeabilizante asfáltico	8.04
Aluminio	Bitalum 1157	Acabado impermeabilizante de aluminio	2.83

Blanco	Imperhome	Impermeabilizante acrílico	21.30
	Resikon 3200	Impermeabilizante asfáltico	7.11
Rojo	Elasto Tawer	Impermeabilizante acrílico	21.23
	Imperfácil	Impermeabilizante acrílico	30.72

APLICACIÓN. La mayoría de los recubrimientos aluminizados de techos pueden aplicarse por gente sin especialización usando dispositivos comunes como brochas, rodillos o aspersores, sin embargo se necesita hacer la aplicación en condiciones ambientales y superficiales determinadas para obtener los mejores resultados. Por ejemplo, la pintura de marca *Alukote-Thermalum* se puede aplicar con pistola de aire o con rodillo para grandes superficies, mientras que para pequeñas superficies se puede utilizar brocha de pelo o cepillo de fibra, además la superficie debe estar completamente limpia, y si ésta es una base asfáltica se deberá asegurar su secado total antes de aplicar la pintura.

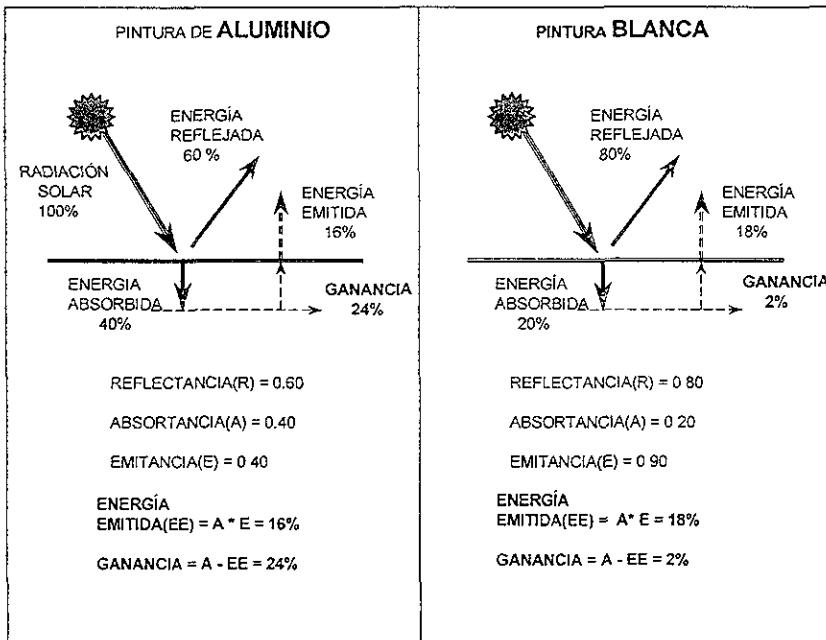
Hay diferentes compañías que se dedican a hacer pinturas de aluminio en diferentes países, entre las que se encuentran, por ejemplo: En Canadá la *Aluminum Company of Canada* con sus productos llamados *Alpaste*, en México la compañía *Metales Atomizados S.A* que fabrica pastas y pigmentos de aluminio, en Estados Unidos de América *Alcoa Aluminum* que fabrica pigmentos y recubrimientos de aluminio, etc.

1.4. Comparación entre pinturas blancas y de aluminio

Al comparar las tablas de propiedades de las diferentes pinturas, podemos ver que las pinturas blancas son mejores térmicamente, por sus propiedades, ya que tienen mayor reflectancia solar y mayor emitancia infrarroja que las coloreadas y que las de aluminio, resultando una ΔT notablemente menor para las pinturas blancas.

Si hacemos un análisis general de radiación, en una superficie como un techo, para comparar el comportamiento de una pintura de aluminio contra una pintura blanca, en efecto,

Figura 1.2 Comparación entre los efectos de radiación entre una pintura de aluminio y una pintura blanca.



la pintura blanca, aunque pudiera absorber más radiación que la de aluminio, es un excelente emisor de calor, por lo que su ganancia de calor es muy pequeña, ver la **Figura 1.2**. Para los cálculos se considera que la pintura de aluminio refleja un 60% de la radiación que recibe, pero que tiene una baja emitancia del 40%, mientras que la pintura blanca tiene una reflectancia del 80% y una emitancia del 90%.

Los resultados muestran que la pintura blanca tiene una menor ganancia de calor que la de aluminio, debido a que esta última tiene una baja emitancia infrarroja por lo que conserva más tiempo su temperatura.

1.5 Vida útil de los recubrimientos

Además de las propiedades mecánicas de la película, debe tenerse en cuenta la resistencia de

ésta a la radiación ultravioleta procedente de la luz solar a la que normalmente se exponen estos recubrimientos. Hay que considerar el que esta radiación, por su elevado contenido en energía y por la acción catalítica o de aceleración que producen sobre las reacciones físico-químicas que conducen a una degradación de la película, ejerce una fundamental influencia en el proceso de degradación de ésta.

Cuando las películas están expuestas al exterior, y por ello sometidas a la acción de la radiación ultravioleta, ésta acelera el proceso de oxidación de tal forma que la velocidad a que transcurre éste, será una consecuencia de la insaturación presente y de la cantidad de radiación solar que incida sobre ella. Como ejemplo puede decirse que los recubrimientos sometidos a la acción de la intemperie en zonas tropicales, y más aún en las ecuatoriales, experimentarán una degradación por oxidación mucho más acelerada que en caso de estarlo en países nórdicos, y ello como consecuencia de las diferencias de la intensidad solar en ambas zonas.

Aunque ya vimos que existen determinados tipos de pigmento que proporcionan una protección frente a la radiación ultravioleta, gracias a su propiedad de absorberla o reflejarla, según sea el tipo de pigmento, con lo que en ambos casos se evita el que la radiación ejerza directamente su acción sobre el aglomerante propiamente dicho; además de que el calentamiento causado en los techos por los rayos solares provoca su fatiga térmica, por lo que mientras más de esos rayos se rechacen es mayor su vida.

Para ayudar a mantener la alta reflectancia de un recubrimiento aplicado recientemente, es importante tener en cuenta varios puntos. Es muy probable que un techo completamente horizontal, con agua estancada después de la lluvia, se ensucie rápidamente, con su correspondiente pérdida de reflectancia. Por otro lado, un aditivo anti-hongos puede retardar el crecimiento biológico y sus manchas resultantes.

Asimismo, existe una diferencia en la manera en que se adhiere la suciedad al recubrimiento; este fenómeno ya se ha estudiado y se ha mejorado la resistencia en recubrimientos especiales (aunque más caros que los comunes) Además el calor generado por los rayos infrarrojos y la luz visible, dañan la integridad física del recubrimiento por las

constantes expansiones y contracciones por la diferencia de temperatura.

Los fabricantes generalmente proporcionan el dato de la vida útil de una pintura como impermeabilizante, por ejemplo para recubrimientos para techos, pero es muy difícil encontrar siquiera información acerca de la reflectancia de la pintura, y mucho menos su vida útil como reflejante. Es así que para hacer una evaluación de la conveniencia del uso de pinturas reflejantes en techos de viviendas para el ahorro de energía es necesario saber cuánto tiempo es posible conservar las propiedades del recubrimiento y qué cuidados se deben de tener para alargar la vida útil de los recubrimiento reflejantes, ya que generalmente el usuario no desea siquiera limpiar esporádicamente el techo de su vivienda.

Por ejemplo, las tejas blancas eran populares en los años 60's en E.U.A., pero perdieron su popularidad cuando la gente encontró que se ensuciaban fácilmente¹⁵. Sin embargo, los fabricantes han desarrollado recientemente tejas blancas "auto-limpiables" con mayores valores de reflectancia que los de aquellos años.

¹⁵ Cooler Roofing Materials, Heat Island Group, página en Internet

Capítulo II

EXPERIENCIAS DEL USO DE PINTURAS REFLEJANTES EN VIVIENDAS

Generalmente, el calentamiento de las viviendas por la insolación aumenta en verano, resultando una mayor incomodidad en viviendas sin sistema de aire acondicionado, y un mayor gasto de energía en las viviendas que cuentan con dicho sistema. Aunque se debe tener en cuenta que el sol de verano afecta sobre todo al techo y a los muros este y oeste, mientras que en invierno el sol se concentra especialmente en la fachada sur, y el techo (si es horizontal o tiene poca pendiente) recibe escasa radiación solar.

Algún tiempo atrás, por ejemplo en Estados Unidos de América en la década de 1960, se utilizaban comúnmente colores claros para pintar las casas, incluyendo los techos, porque así se tenían habitaciones más frescas. Sin embargo, al mejorarse y “abaratarse” los sistemas de aire acondicionado se fue dejando a un lado esa práctica, pero hoy volvemos a ella por los beneficios que nos puede dar

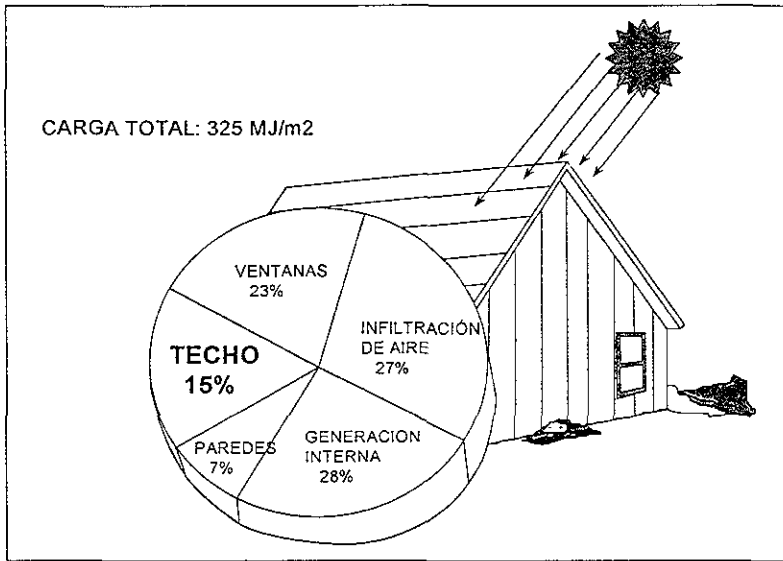
En México se solían pintar las casas con una mezcla de cal, agua y sal, para mejorar el aspecto visual de las viviendas, y haciendo a su vez que las casas fueran más “frescas”.

En algunas ciudades de Túnez, África, además del “control del sol en puertas y ventanas mediante tejadillos y elementos arquitectónicos populares, por tradición y norma legal todos los elementos de carpintería metálica o de madera se pintan de color azul y todos los muros y techos se encalan”¹⁶.

La carga térmica en una vivienda, en general se compone por el calor transfendo por las paredes y ventanas, por las infiltraciones de aire exterior, por el calor generado en el interior y

¹⁶ Roger Camous y Donald Watson, *El hábitat bioclimático*, Ediciones G. Gili, S. A., México, 1986.

Figura 2.1. Fuentes de carga de acondicionamiento anual para una casa típica de 140 m² en Florida, E.U.A.



por el calor transferido por el techo, ver la **Figura 2.1**

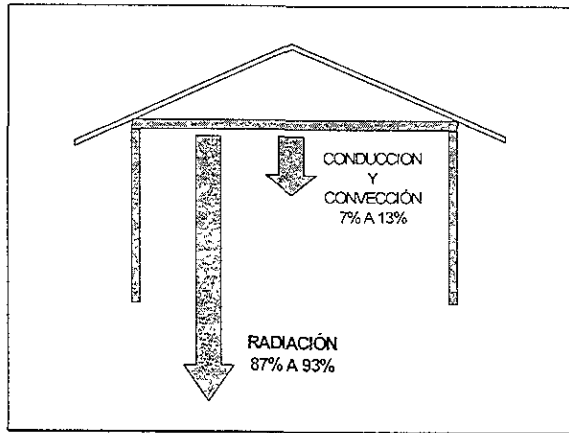
Aunque el calor transferido por el techo no es la carga mayor, sí es considerable; y si se disminuye se pueden tener ahorros de energía eléctrica en el sistema de aire acondicionado y/o aumento en la comodidad interior.

En general, de la cantidad total de calor que entra a una habitación a través del techo en verano, aproximadamente el 87% es debido a la radiación, y lo restante es por conducción y convección; de aquí que se puedan usar pinturas reflejantes como alternativa para bajar la temperatura interior de una habitación. Ver la **Figura 2.2**.

2.1. Experiencias de proyectos piloto

En Estados Unidos de América se han hecho varios estudios monitoreando casas cuyos

Figura 2.2. Proporciones de calor a través del techo en verano.



techos están hechos de diferentes materiales o están pintados con colores claros y otras con colores oscuros, y se ha llegado a ciertos resultados, entre los que se tienen los siguientes.

1 • En un día claro y soleado en Austin, Texas, se tenía una temperatura ambiente de 32.2°C, y se midieron las temperaturas de diferentes techos, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 2.1. Temperatura de techos en Austin, Texas.

COLOR DEL TECHO	TEMPERATURA DE LA SUPERFICIE EXTERIOR DEL TECHO [°C]
Blanco	43.3
Recubrimiento de aluminio	60.0
Negro	87.8

Referencia. *Energy Matters*, página en Internet

Mientras más caliente esté el techo, también más caliente estará la habitación o vivienda, debido a que el flujo de calor por conducción a través del techo y por convección del techo hacia el interior puede ser mayor por la gran diferencia de temperatura entre el techo y el interior (que depende de la inercia térmica interior o de si se cuenta con algún sistema de

acondicionamiento de aire) y la radiación desde el techo también aumenta con la temperatura, de manera que es muy importante mantener la temperatura del techo tan baja como sea posible; de la **Tabla 2.1** podemos ver que el color que mejor rechaza el calor es el blanco, y el peor es el color negro, mientras que el recubrimiento de aluminio se encuentra en una posición intermedia, pero mejor que el negro.

2 • El *Lawrence Berkeley Laboratory (LBL)* hizo un estudio en el que se analizaron diferentes tipos de materiales en techos de casas que se encuentran una junto a la otra, registrando las temperaturas máximas que alcanzaron sus techos por el exterior, cuando el aire ambiente se encontraba a 12°C. En la siguiente tabla tenemos los resultados:

Tabla 2.2. Temperatura de techos, según el estudio del LBL.

MATERIAL DEL TECHO	TEMPERATURA MÁXIMA DE LA SUPERFICIE EXTERIOR DEL TECHO [°C]
Pintura acrílica negra	61
Acero Galvanizado	59
Pintura acrílica negra con capa reflectora del infrarrojo	51
Teja blanca común de fibra de vidrio o asfalto	48
Teja de arcilla	45
Pintura acrílica roja	41
Pintura acrílica verde-claro	40
Pintura acrílica blanca	23
Pintura acrílica "hiperblanca" ¹⁷	18

De esta tabla se observa de nuevo que la pintura blanca es la que refleja más radiación, así como que hay colores que no son blancos y sí tienen buenas propiedades de reflectancia (ver **Figura 1.1**), como es el caso de la pintura verde-claro (reflectancia solar de 50%) que está 21°C abajo de la temperatura de la pintura negra, que es la que más calor absorbe.

¹⁷ No se tiene mayor especificación de este tipo de recubrimiento

3 • La Instalación de Techos Flexible. El Centro de Energía Solar de Florida (FSEC, por sus siglas en inglés), ha recolectado datos del comportamiento térmico comparativo de áticos en verano, en una instalación instrumentada ampliamente: *La Instalación de Techos Flexible* (ver la **Figura 2.3**). La instalación es una casa de 7.3 m (24 ft) por 14.6 m (48 ft) con seis compartimentos adyacentes de prueba que están muy bien aislados unos de otros. Se tienen alrededor de 233 canales de recolección de datos, incluyendo 20 mediciones de temperatura en cada celda, medición de las condiciones meteorológicas, medición de la temperatura de las superficies y las velocidades del viento, medición de las presiones interiores, y hasta de la acumulación de humedad en la superficie del techo. Los datos se toman en el verano (según la definición de la ASHRAE, es decir, de junio a septiembre) para aprender qué sistema de techado ofrece un mejor desempeño térmico de enfriamiento en esa temporada. Según el protocolo de la prueba, se evalúan seis diferentes tipos de techado, en los que se varía el color, la ventilación (la relación que existe entre la ventilación de sótano y la de aguilón), la masa del techo y el uso del sistema de barrera radiante (SBR), como sigue:

Celda 1: Tejas de concreto blanca

Celda 2: Tejas planas de asfalto negro, SBR en la estructura; ventilación 1:150

Celda 3: Tejas planas de asfalto negro, SBR en la estructura; ventilación 1:300.

Celda 4: Tejas de concreto rojo, ventilación 1:150.

Celda 5: Tejas planas de asfalto negro; ventilación 1:300

Celda 6: Metal con costuras color blanco, ventilación 1:300

El examen de los primeros resultados hasta el 16 de junio de 1997 muestran algunas conclusiones sorprendentes, como se puede ver en la **Figura 2.4**, donde se muestra la temperatura en el interior del ático a lo largo del día 16 de junio de 1997

La celda estándar número 5 es la más caliente, con temperaturas centrales que alcanzan los 57.2°C en un día moderado (la temperatura ambiente máxima fue de 33.4°C). El ático con SBR y ventilación 1:300 (número 3) es la siguiente más caliente con una temperatura máxima de 53.4°C, seguida por la celda número 2 con SBR y ventilación 1:150 (temperatura máxima 46.7°C). El techo con tejas rojas exhibe un comportamiento similar al de la celda con SBR y bien ventilada durante las horas de día (temperatura máxima de 46.5°C), pero es más

Figura 2.3. Configuración de la instalación de techos flexible.

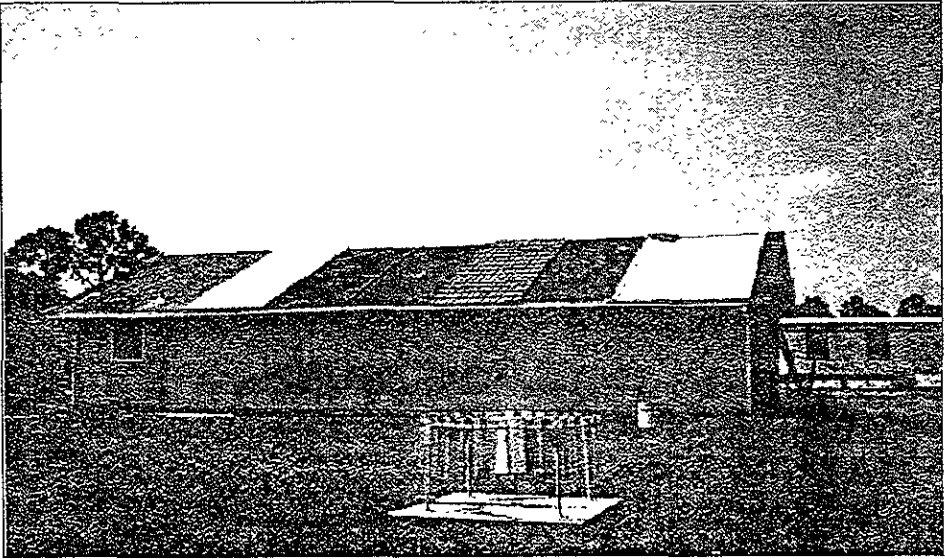
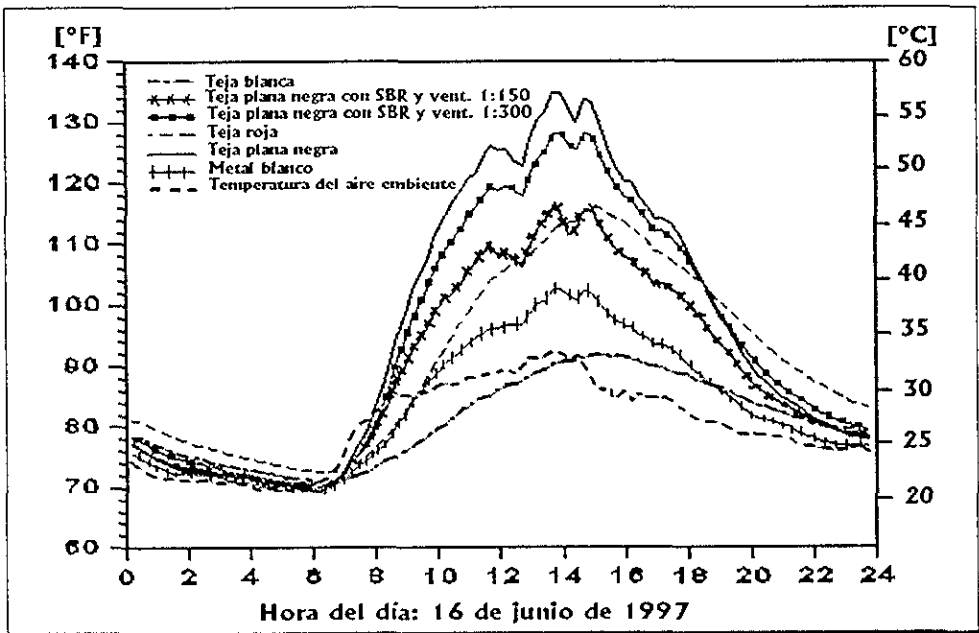


Figura 2.4. Temperatura del aire registrada en el centro del ático en la instalación de techos flexible.



caliente en las noches. Ambos techos blancos muestran las menores temperaturas, mientras que la temperatura bajo el techo metálico no pasa de 39°C.

El comportamiento más interesante es el del techo con tejas blancas; la temperatura del aire en el ático no se eleva generalmente arriba de la temperatura ambiente hasta las 2 de la tarde. La temperatura máxima en el interior del ático sólo fue de 33.0°C —menos que el máximo de la temperatura ambiente—. Eso ocurre debido a que el techo con tejas blancas absorbe poco calor durante el día debido a que el interior acondicionado de la instalación abajo del aislamiento, ejerce una influencia de enfriamiento en el balance de calor del ático cuando se gana tan poco calor por el sistema de techado. Los datos de la instalación indican que el sistema de techado con tejas blancas ofrece el mejor comportamiento térmico de los evaluados para climas calientes.

4 • Otro estudio hecho en Florida, E.U.A., reveló que al incrementar la reflectancia de calor de los techos de viviendas, usando pinturas de colores claros, los propietarios ahorran un promedio de 23% en los costos de enfriamiento durante el verano, aunque no se tienen datos del efecto en invierno¹⁸.

5 • Algunos investigadores del *Heat Island Group* en el *Lawrence Berkeley Laboratory*, han monitoreado edificios de la ciudad de Sacramento con techos más claros y reflectivos, encontrando que éstos usaban hasta un 40% menos energía en comparación con los edificios de techos oscuros¹⁹.

6 • El Centro de Energía Solar de Florida también hizo otro estudio similar al anterior, mostrando, de igual manera, hasta un 40% de ahorro de energía en enfriamiento durante las épocas de alta insolación

7 • Por otro lado, un estudio del *Lawrence Berkeley Laboratory* reveló que al incrementar la reflectancia de techos y otras superficies en las áreas metropolitanas podrían reducir drásticamente los costos nacionales de energía de los E.U.A.

¹⁸ *Color and Energy Matters*, página en Internet

¹⁹ *Heat Island Group*, página en Internet

Se debe destacar que estos experimentos se ha hecho bajo condiciones controladas y, generalmente, sin ocupantes en las viviendas.

Así, la instalación de techos más reflejantes ahorrará energía y dinero en costos de enfriamiento, sin embargo se debe tener en cuenta que no se tienen las mismas condiciones climáticas todo el año, y que en invierno —por ejemplo— en vez de ayudar, esta reflectancia puede aumentar los costos de calefacción, aunque generalmente el ahorro por enfriamiento en verano es mayor que el incremento por calentamiento en invierno, explicable en parte porque la insolación sobre los techos disminuye y ésta aumenta por las paredes en el invierno

En México también se han hecho algunos estudios como los que se indican a continuación:

8 • La empresa llamada *Thermodec* (fabricante de un recubrimiento de alta reflectancia del mismo nombre) hizo la evaluación experimental del comportamiento de su producto como limitante pasivo de la ganancia de energía solar en edificaciones, así como del incremento posible del confort en las viviendas al usar su recubrimiento.

Se aplicó el producto *Thermodec* al techo de una casa habitación sin equipo de aire acondicionado, y como casa testigo se tomó otra construcción similar con impermeabilizante asfáltico negro y sin recubrimiento *Thermodec*. El experimento se llevó a cabo en la ciudad de Mérida, Yucatán. Se tomaron las mediciones de: temperatura interior de la construcción, temperatura exterior, humedades relativas interior y exterior, temperaturas interior y exterior de los techos y de las paredes, así como la magnitud de la radiación solar incidente.

La radiación solar incidente sobre una superficie horizontal para el día 6 de marzo de 1996 fue similar a la de los días de la experimentación, y se tuvo un máximo de 910 W/m^2 .

En la **Figura 2.5** se tienen los valores de las temperaturas en la superficie interior de los techos. Se destaca el hecho de haber encontrado diferencias de hasta 6°C entre los techos de las dos casas, siendo el de menor temperatura el que se encontraba recubierto con *Thermodec*.

Figura 2.5. Comparación de la temperatura interior de techos.

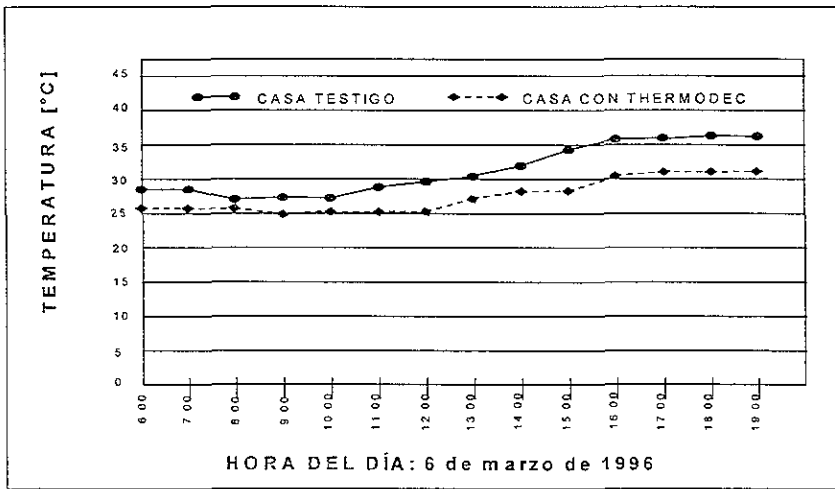
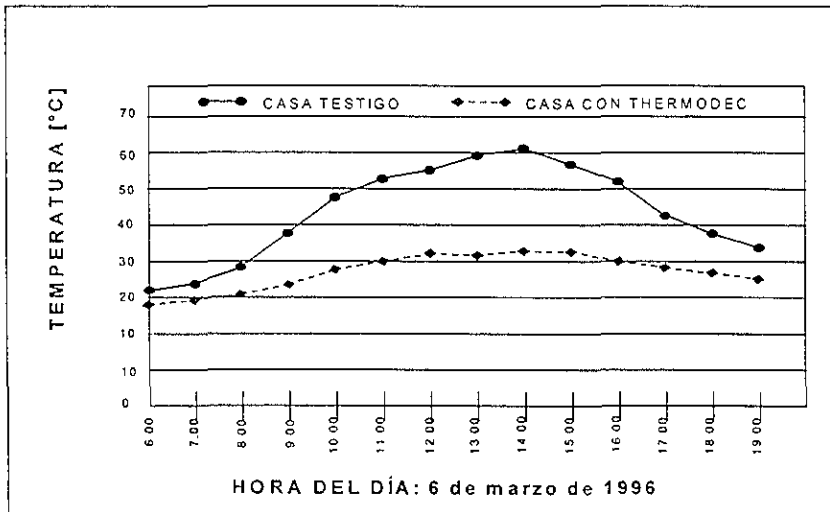


Figura 2.6. Comparación de la temperatura de exterior de techos.



En la Figura 2.6 se muestra la temperatura en la superficie exterior de los techos. Sobresale la gran diferencia entre la temperatura de los techos a las 14:00 horas (28°C)

El costo de la aplicación del *Thermodec* en el techo de la casa de 60 m² es de 24 \$/m² * 60 m² = \$1440 (marzo de 1996), mano de obra incluida, con cinco años de garantía como reflejante (según el fabricante). Si se tuviera un sistema de aire acondicionado en la casa con *Thermodec* se ahorraría energía eléctrica porque dejaría de funcionar dicho sistema por la disminución de la carga térmica por el techo, teniéndose un tiempo de recuperación de la inversión de 9.43 meses. De igual manera, se obtendrían beneficios en los años posteriores, porque se tendría el ahorro de energía en esta unidad por cuatro años más (según la garantía del fabricante).

Ahora bien, según las experiencias que se han tenido, la vida de un recubrimiento como buen reflejante no es tan larga como 5 años, debido a que se encuentran a la intemperie y a todos los factores que ello conlleva, por lo que un valor más conservador y confiable es tomar un año de vida útil como recubrimiento reflejante, y siendo así, el tiempo de recuperación de la inversión de 9.43 meses es muy alto y no hace atractivo su uso si se tuviera un sistema de aire acondicionado. Sin embargo, el mejoramiento del confort cuando no se cuenta con dicho sistema de acondicionamiento de aire es evidente, y hace atractivo su uso.

Por otro lado, es conveniente resaltar que calcular el calor solar ganado a través de los muros y los techos es muy complejo. Primeramente porque la radiación solar a lo largo del día no es constante y depende de muchos factores incalculables, además de que cuando el sol calienta la superficie se inicia un flujo de calor hacia el interior del espacio que dependerá de la masa del techo o pared, hasta llegar a un máximo; después el flujo disminuye poco a poco, hasta que el calor fluye por la tarde del interior hacia el exterior, si la temperatura interior es mayor que la del ambiente exterior.

9 • Con el propósito de definir el ahorro de energía eléctrica por el uso de pinturas reflejantes, se realizó un proyecto piloto aplicando una pintura de aluminio (por ser la de menor costo en el mercado) en techos de edificaciones en la ciudad de Monterrey, Nuevo León, en el año de 1997. El estudio fue realizado por la Universidad Mexicana del Noreste de Monterrey, N.L. en colaboración con el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE) y la División de Distribución Golfo Norte de la Comisión Federal de Electricidad (C.F.E.), coordinado por el Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico (PAESE) de C.F.E.

Tabla 2.3. Resultados del Proyecto piloto en Monterrey, N.L.

LUGAR	(a)		(b)		(c)		(d)*	
	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS
FECHA	3,7,8,9 10 y11 de julio	14 al 18 de julio	3,7,8,9 10 y11 de julio	14 al 18 de julio	3,7,8,9 10 y11 de julio	14 al 18 de julio	7 días aleato- rios de agosto	4 días aleato- rios de sept
Temperatura promedio ambiente exterior [°C]	31.84	33.31	31.84	32.70	33.96	35.49	33.57	33.51
Temperatura promedio ambiente interior [°C]	33.42	33.99	32.09	32.04	28.03	29.00	27.38	26.07
Temperatura promedio superficial exterior del techo [°C]	46.80	42.96	51.45	47.45	48.91	44.99	39.40	34.12
Temperatura promedio superficial interior del techo [°C]	33.58	35.00	35.82	34.89	32.32	33.22	34.74	33.81
Caída de temperatura en el techo [°C]	13.22	7.96	15.63	12.56	16.59	11.77	4.66	0.31
Consumo promedio de energía eléctrica [kWh/día]	30.10	23.32	49.64	47.88	51.46	47.01	21.83	18.25
Diferencia de temperatura ambiente interior [°C]	-0.57		0.07		-0.97		1.31	
Diferencia caídas de temperatura a través del techo [°C]	5.36		3.07		4.82		4.35	
Diferencia de consumo de energía eléctrica [kWh/día]	6.78 Ahorro: 22.53%		1.76 Ahorro: 3.55%		4.45 Ahorro: 8.65%		3.58 Ahorro: 16.4%	

* Se identificaron días cuyo promedio de temperatura ambiente exterior fueran similares, aprovechando los datos medidos en otro proyecto.

En el proyecto se consideraron cuatro sitios de estudio

- (a) Casa-habitación: ubicada en la calle Lugones No. 291, Monterrey, N.L.
- (b) Casa-habitación ubicada en la calle Lugones No. 200-A, Monterrey, N.L.
- (c) Comercio de renta de trajes de etiqueta ubicada en la calle Lugones No. 101-A, Monterrey, N.L.
- (d) Prototipo de casa con material tradicional (tabique barro block cemento-arena): ubicado

en las instalaciones de la Compañía CONTEC, S.A. (18 m^2 con ventanas orientadas al este y oeste, y puerta al sur).

El costo del material y la mano de obra ascendió a $3 \text{ \$/m}^2$ y los consumos de energía eléctrica fueron reportados por la Universidad Mexicana del Noreste y avalados por la División Golfo Norte de C.F.E. En la **Tabla 2.3** se muestran los resultados obtenidos.

De esta tabla, los resultados más representativos son los de la edificación prototipo de material tradicional (d), ya que ésta no estuvo sujeta a las diversas costumbres de uso de los equipos de aire acondicionado de las demás edificaciones, concluyéndose así un ahorro del 16% por la aplicación de la pintura reflejante de aluminio.

Sólo como referencia, el proyecto podría ser rentable, por ejemplo, en una edificación de 90 m^2 , con consumos mayores a 1200 kWh/mes en verano, que representaría un ahorro de 144 kWh/mes (16% del 75% de consumo), obteniéndose a tasa cero una relación *beneficio/costo* para el usuario de 3.315 y un período de recuperación de capital de 1.8 meses (30% de la vida útil si se considera ésta como seis meses).

Debido a la rápida disminución de la reflectancia de la pintura aluminio por el efecto de las condiciones ambientales, su vida útil se considera de un verano únicamente (seis meses), ya que posteriormente tiende a convertirse en color gris opaco, contrario a las especificaciones suministradas por los fabricantes, donde se indica generalmente una vida útil mayor como impermeabilizante.

Capítulo III

EXPERIMENTO DEMOSTRATIVO

3.1. Objetivo del experimento

Simular experimentalmente el comportamiento térmico de pinturas de diferentes colores aplicadas en los "techos" de unas cajas cerradas completamente, de iguales dimensiones y bajo las condiciones ambientales normales, por la ganancia de energía solar durante el verano y el invierno

3.2. Material y equipo

Para el desarrollo de este experimento en verano se utilizó el siguiente material y equipo:

- Cuatro cajas de cartón corrugado de 3 mm de espesor. Las dimensiones de las cajas son 33 cm de largo, 33 cm de ancho y 16 cm de altura.
- Pintura blanca marca Comex (esmalte alquidálico para interiores y exteriores) de acabado brillante y secado de 4 a 6 horas.
- Pintura negra marca Comex (esmalte alquidálico para interiores y exteriores) de acabado brillante y secado de 4 a 6 horas.
- Pintura de aluminio oleorresinoso para exteriores marca Berel, S A ; acabado brillante y secado rápido.
- Termómetro digital marca Fluke-52 (precisión $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$), para medir la temperatura de los techos e interiores
- Cuatro termómetros de vidrio, para medir la temperatura interior de las cajas en verano.
- Termómetro bimetálico, para medir la temperatura ambiental

Para el desarrollo del experimento en invierno se utilizó el mismo material anterior, más:

- Tres cajas de cartón corrugado de 3 mm de espesor. Las dimensiones de las cajas son 33 cm de largo, 33 cm de ancho y 16 cm de altura.
- Pintura blanca cerámica marca Aislaflex D. A. (especial para techos) de acabado opaco.
- Pintura roja marca IPESA de acabado opaco.
- Pintura de cal, hecha con una mezcla de agua, cal y pegamento especial para asegurar su adherencia a la superficie

3.3. Preparación

Primeramente se deben sellar las cajas de cartón para evitar que, a la hora de la experimentación, se tengan pérdidas considerables de calor por flujos de aire exterior. Se eligió el cartón porque es un buen aislante térmico, ya que tiene una conductividad térmica de $0.046 \text{ W/m}^2\text{°C}$, comparada con $0.026 \text{ W/m}^2\text{°C}$ que es la conductividad del aire²⁰.

Para la fase de verano, se aplican las pinturas a los techos de tres de las primeras cuatro cajas, es decir una con una superficie pintada de color blanco, otra con color negro y otra con pintura de aluminio. Como testigo se toma la caja con recubrimiento negro. Para el experimento en invierno se agregan las cajas con colores blanco cerámico (Aislaflex), rojo y cal.

Se hace una perforación en cada una de las cajas con objeto de introducir el termómetro de vidrio o el termopar y medir la temperatura interior de la caja.

Todas las cajas se deben orientar en el mismo sentido (una misma cara hacia el norte) para asegurar que estén sujetas a las mismas condiciones de insolación, y se colocan a una separación adecuada para evitar que las sombras afecten la insolación sobre las cajas. Además, debido a que todas las cajas son de las mismas dimensiones y material, teóricamente están sujetas a las mismas condiciones ambientales, y la única diferencia es el recubrimiento del techo, que es precisamente lo que se desea evaluar.

Figura 3.1. VERANO: Cajas con diferentes recubrimientos.

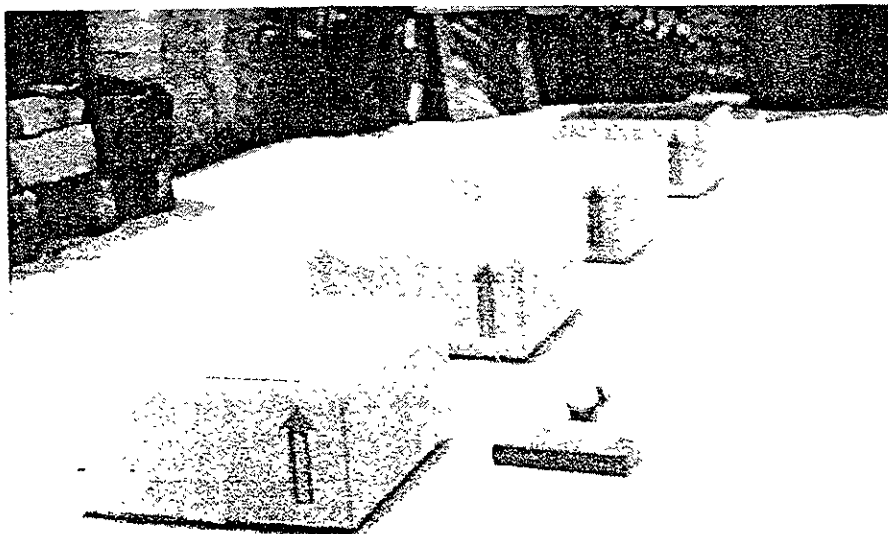
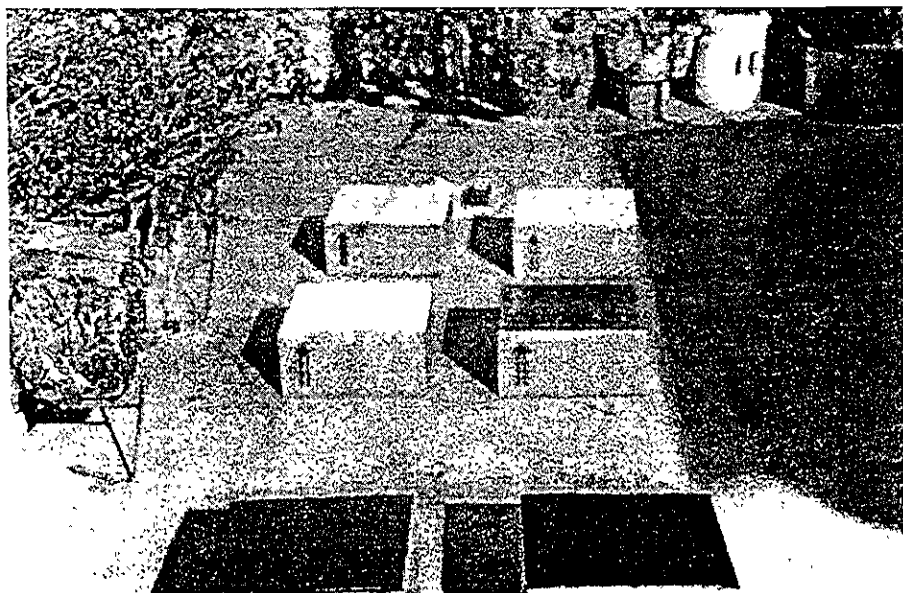


Figura 3.2. INVIERNO: Cajas con diferentes recubrimientos.



3.4. Desarrollo

El lugar de la experimentación fue la ciudad de México (latitud 19.40°N y longitud 99.20°W) los días 8 de junio de 1997 (verano) y 11 de enero de 1998 (invierno)

Se colocaron las cajas orientadas en el mismo sentido por la mañana antes de que saliera el sol, iniciando con iguales temperaturas interiores de las cajas.

Se hicieron las mediciones de temperatura de: el interior de las cajas, el ambiente exterior y la superficie exterior de los techos, para cada una de las cuatro cajas. Las mediciones se hicieron cada hora, usando los diferentes termómetros, hasta que se ocultó completamente el sol.

Se consideraron los diferentes factores climáticos que se presentaron durante la experimentación (como lluvias, nublados o vientos), ya que estos afectan el experimento, por ello se tiene una columna de observaciones o comentarios en la tabla de datos. Aunque, en general, no presentaron impacto significativo en los resultados, sino al final del experimento en verano cuando se debió suspender la medición por una llovizna leve.

Figura 3.3. VERANO: Arreglo de instrumentación y orientación de las cajas.

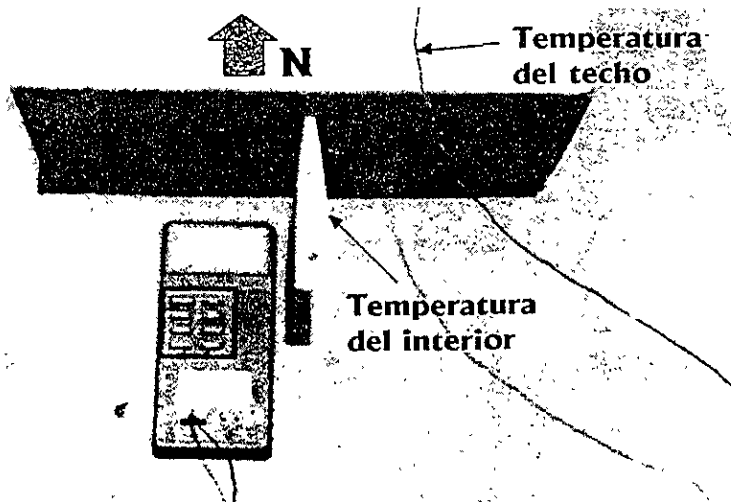
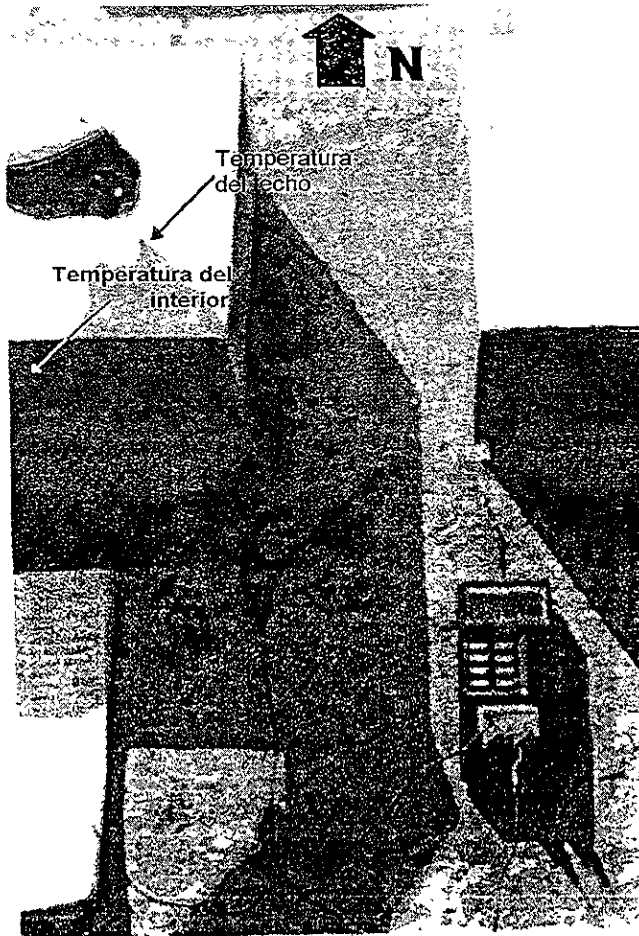


Figura 3.4. INVIERNO: Arreglo de instrumentación y orientación de las cajas.



3.5. Resultados de verano

Las cuatro cajas se expusieron al sol desde las ocho de la mañana hasta las seis de la tarde solamente, debido a que comenzó a lloviznar. Los datos obtenidos se muestran en las tablas y gráficas de las páginas siguientes

Tabla 3.1. VERANO: Temperatura de la superficie exterior de los techos.

HORA DEL DÍA	T _{ambiente} [°C]	T _{negro} [°C]	T _{blanco} [°C]	T _{aluminio} [°C]	T _{cartón} [°C]	COMENTARIOS
8	17	18.5	16.7	18.1	17.5	Medio nublado
9	18	23.6	19.2	21.5	20.5	Medio nublado
10	21	38.9	25.3	30.7	32.6	Despejado
11	24	42.6	29.3	34.5	36.8	Despejado
12	25	47.0	31.5	38.5	41.2	Despejado
13	29	49.8	34.7	39.5	42.3	Despejado
14	36	50.7	35.8	42.4	43.1	Despejado, sol vertical
15	34	52.7	35.8	42.5	43.6	Medio nublado
16	32	53.0	36.1	42.9	42.0	Medio nublado
17	31	44.3	33.0	38.0	38.2	Viento ligero
18	25	25.1	25.9	25.0	25.9	Nublado, viento considerable
PROMEDIO.	26.5	40.6	29.4	34.0	34.9	

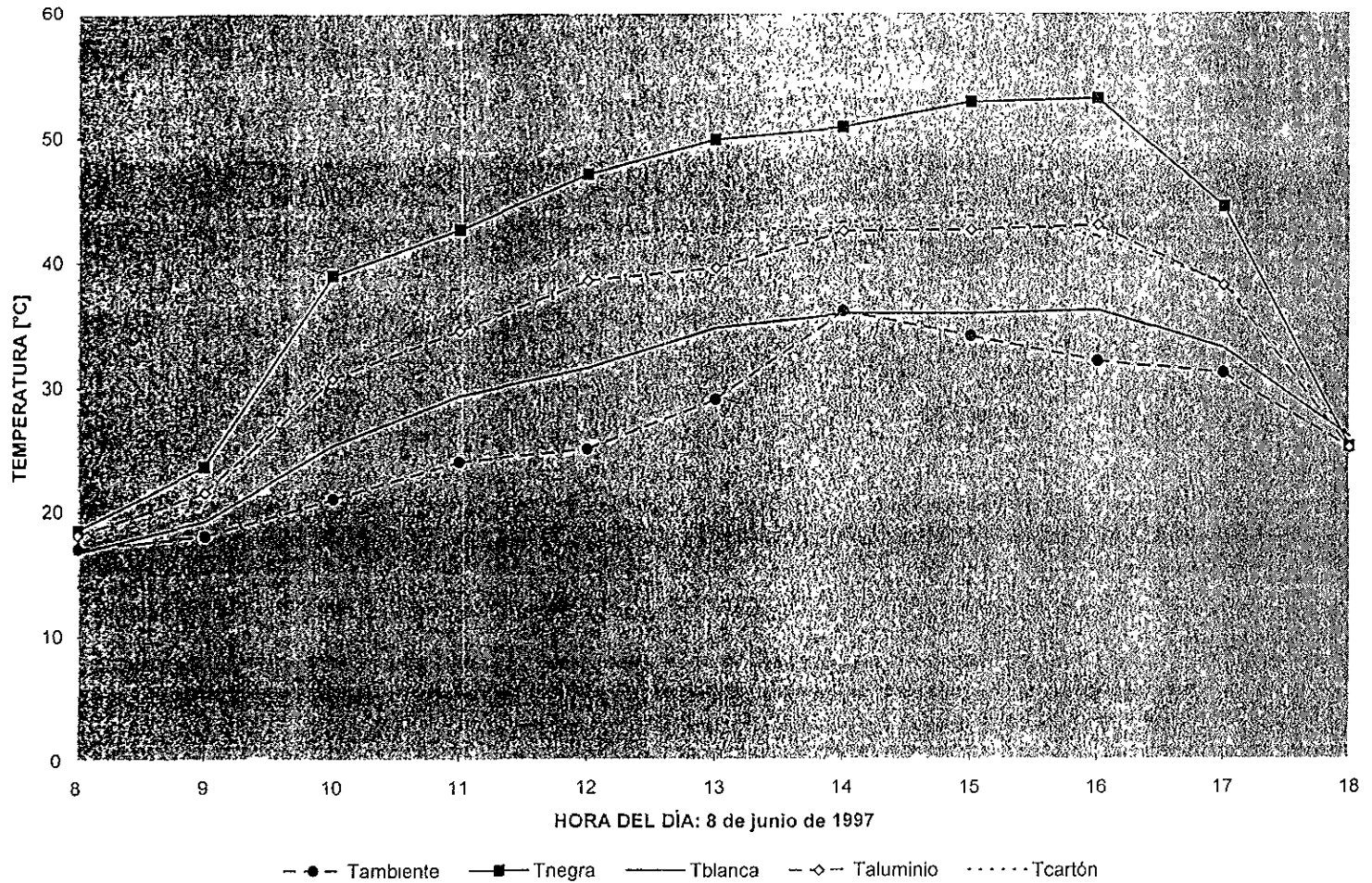
Nota: Los valores máximos se encuentran en fondo obscuro.

La temperatura de los techos va aumentando continuamente aproximadamente hasta las 15 horas, cuando la caja sin recubrimiento empezó a disminuir su temperatura, a pesar que la temperatura ambiente empezó a bajar desde las 14 horas; es decir, que el efecto de la radiación incrementó la temperatura superficial de los techos a pesar de la disminución de la temperatura ambiente.

La pintura negra es la que alcanza la máxima temperatura durante todo el día, llegando hasta 53°C a las 16 horas. Le sigue la caja sin recubrimiento, la que se comporta de manera similar a la de aluminio, pero esta última mantiene su temperatura por abajo de la de la caja sin recubrimiento hasta las 16 horas (cuando se empieza a enfriar), pero por la baja emitancia de la pintura de aluminio, ésta conserva la temperatura más tiempo. La pintura blanca es la que mantiene la menor temperatura, e incluso menor que la temperatura ambiente a las 14 horas, precisamente cuando el sol se encuentra casi vertical y el efecto de la radiación es máximo en el techo y mínimo en las paredes.

En promedio, la pintura negra es la que mantuvo la mayor temperatura durante el día, y la pintura blanca la que se mantuvo "más fresca" o con menor temperatura, incluso que la temperatura del ambiente exterior en un período dado

Figura 3.5. VERANO: Temperatura de la superficie exterior de los techos.



Para tener otro punto de comparación, se calcula la diferencia de temperatura entre la superficie exterior del techo y el ambiente interior, definido anteriormente por ΔT .

Tabla 3.2. VERANO: Diferencia de temperatura entre la superficie exterior del techo y el ambiente exterior (ΔT).

HORA DEL DÍA	T _{negro} [°C]	T _{blanco} [°C]	T _{aluminio} [°C]	T _{cartón} [°C]
8	1.5	-0.3	1.1	0.5
9	5.6	1.2	3.5	2.5
10	17.9	4.3	9.7	11.6
11	18.6	5.3	10.5	12.8
12	22.0	6.5	13.5	16.2
13	20.8	5.7	10.5	13.3
14	14.7	-0.2	6.4	7.1
15	18.7	1.8	8.5	9.6
16	21.0	4.1	10.9	10.0
17	13.3	2.0	7.0	7.2
18	0.1	0.9	0.0	0.9
PROMEDIO:	14.0	2.8	7.4	8.3

La ΔT nos dice que tan diferente es la temperatura de la superficie del techo y la temperatura del ambiente exterior. Curiosamente, las diferencias máximas para todos los casos se tienen a las 12 horas, y las diferencias mínimas a las 14 horas, cuando la insolación sobre los "techos" es máxima. A esta última hora, la pintura blanca se encuentra aún a menor temperatura que la temperatura ambiente (-0.2°C). Otra vez, el promedio del día es máximo para la pintura negra con 14.0°C y mínimo para la pintura blanca con 2.8°C.

En orden de menor a mayor ΔT , primero se encuentra la pintura de color blanco, le sigue la pintura de aluminio, a continuación la caja sin recubrimiento (cartón) y finalmente la caja con recubrimiento negro, es decir, la que alcanza una mayor temperatura, tanto absoluta como promedio

Figura 3.6. VERANO: Diferencia de temperatura entre la superficie exterior del techo y el ambiente exterior.

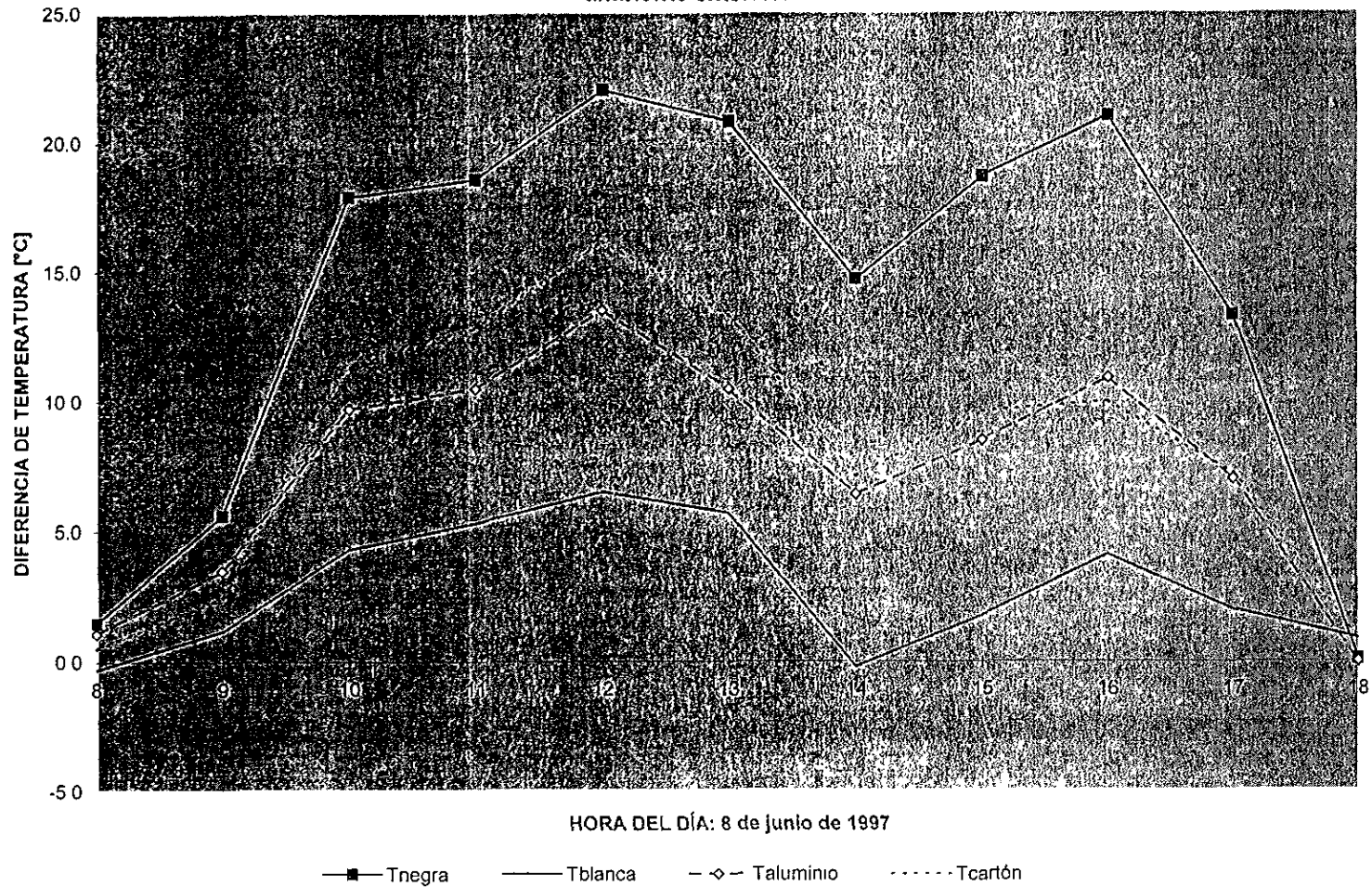


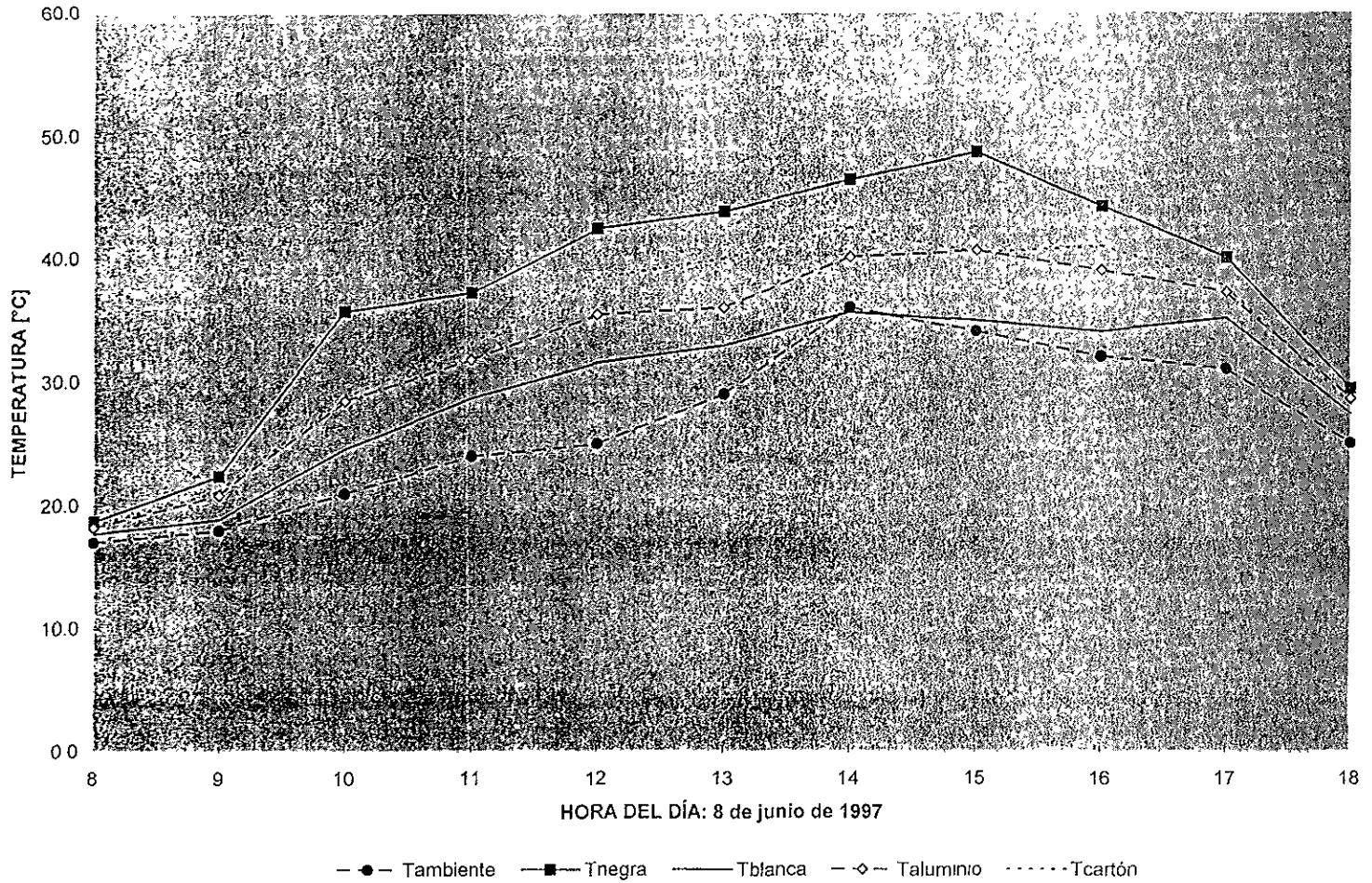
Tabla 3.3. VERANO: Temperatura de interiores.

HORA DEL DÍA	T _{ambiente} [°C]	T _{negro} [°C]	T _{blanco} [°C]	T _{aluminio} [°C]	T _{cartón} [°C]	COMENTARIOS
8	17.0	18.7	17.7	18.2	18.4	Medio nublado
9	18.0	22.4	18.9	20.9	21.2	Medio nublado
10	21.0	35.7	24.6	28.5	28.8	Despejado
11	24.0	37.2	28.7	31.8	33.1	Despejado
12	25.0	42.4	31.5	35.4	38.4	Despejado
13	29.0	43.8	32.9	36.0	40.0	Despejado
14	36.0	46.4	35.6	40.1	42.5	Despejado, sol vertical!
15	34.0	48.6	34.9	40.6	40.4	Medio nublado
16	32.0	44.2	34.0	39.0	41.0	Medio nublado
17	31.0	40.0	35.1	37.2	37.7	Viento ligero
18	25.0	29.4	27.4	28.6	28.1	Nublado, viento considerable
PROMEDIO:	26.5	37.2	29.2	32.4	33.6	

El comportamiento de las temperaturas interiores es muy parecido al de las temperaturas de los “techos”, manteniéndose el promedio del techo negro con la mayor temperatura, y sólo 3.4°C por debajo de la temperatura de la superficie exterior del “techo”.

La temperatura máxima de los interiores se encuentra entre las 14 y 15 horas; mientras que, de los promedios del día, el mínimo corresponde a la pintura blanca con 29.2°C (tan sólo 0.2°C abajo del promedio de la temperatura de la superficie exterior del “techo”) y un máximo absoluto de 35.6°C a las 14 horas.

Figura 3.7. VERANO: Temperatura de interiores.



3.6. Resultados de invierno

Las siete cajas se expusieron al sol desde las nueve de la mañana hasta las cinco treinta de la tarde debido a que el sol estaba casi horizontal y las cajas ya no recibían la radiación solar. Los datos obtenidos se muestran en las tablas y gráficas de las páginas siguientes.

Tabla 3.4. INVIERNO: Temperatura de la superficie exterior de los techos.

HORA DEL DÍA	T _{ambiente} [°C]	T _{negro} [°C]	T _{blanco} [°C]	T _{aislaflex} [°C]	T _{cal} [°C]	T _{aluminio} [°C]	T _{rojo} [°C]	T _{cartón} [°C]	COMENTARIOS
9	10	12.2	12.2	13.9	10.2	11.4	11.5	15.9	Medio nublado
10	16	25.4	19.3	21.3	22.3	22.2	24.6	21.7	Despejado
11	18	31	21.4	22.7	21.5	27	28	25.6	Despejado
12	20	33.8	24.5	25	29.3	27.7	32.2	31.2	Despejado
13	23	37.5	30.1	30.3	28	31.7	35.3	30.5	Viento ligero.
14	24	38.8	28.7	31.7	29.2	34.9	35.7	30.8	Viento ligero
15	24	39.1	30.2	30.9	31.3	32.8	35.8	35	Viento ligero.
16	24	33.1	27.4	28.7	28.9	29.8	31.8	30.6	Viento ligero.
17	22	30.2	29.4	29.2	29.3	31	29.7	28.3	Viento ligero.
17.5	20	25.1	24.4	24.6	24.8	28	25.1	25.4	Sombra y viento ligero.
PROMEDIO:	20.1	30.6	24.8	25.8	25.5	27.6	29.0	27.5	

En principio, la temperatura ambiente sólo alcanza los 24°C como máximo (efecto esperado por la menor radiación solar del invierno) alrededor de las 15 horas, mientras que los máximos se alcanzan entre las 14 y las 15 horas.

Según los promedios del día, la pintura negra es la que alcanzó la mayor temperatura con 30.6°C, y en orden decreciente le siguen: la pintura roja, la caja sin recubrimiento, la pintura de aluminio, la pintura blanca Aislaflex, la pintura blanca común y la pintura de cal, que es la que presentó la menor temperatura promedio, a pesar de su acabado rugoso y opaco, aunque tuvo variaciones muy bruscas aparejadas a los cambios de la temperatura ambiente, es decir, **no tiene gran inercia térmica**.

Las dos pinturas blancas tienen un comportamiento muy parecido, y la máxima

diferencia de temperatura entre ellas es de 3°C a las 14 horas. Por otro lado, las pinturas negra y roja mantienen las temperaturas mayores, y no alcanzan diferencia mayor de 3.3°C entre ellas (15 horas).

Así, la pintura negra sigue siendo la que presenta el punto máximo (39.1°C) durante el día, aunque, comparado con el experimento en verano, no alcanza una temperatura tan grande (53.0°C). La pintura de aluminio se mantiene con mayor temperatura que todas las demás después de las 17 horas —aún mayor que la del color negro—, debido a su baja emitancia, por lo que en el invierno puede ser una buena opción al conservar la temperatura por más tiempo.

Figura 3.8. INVIERNO: Temperatura de la superficie exterior de los techos.

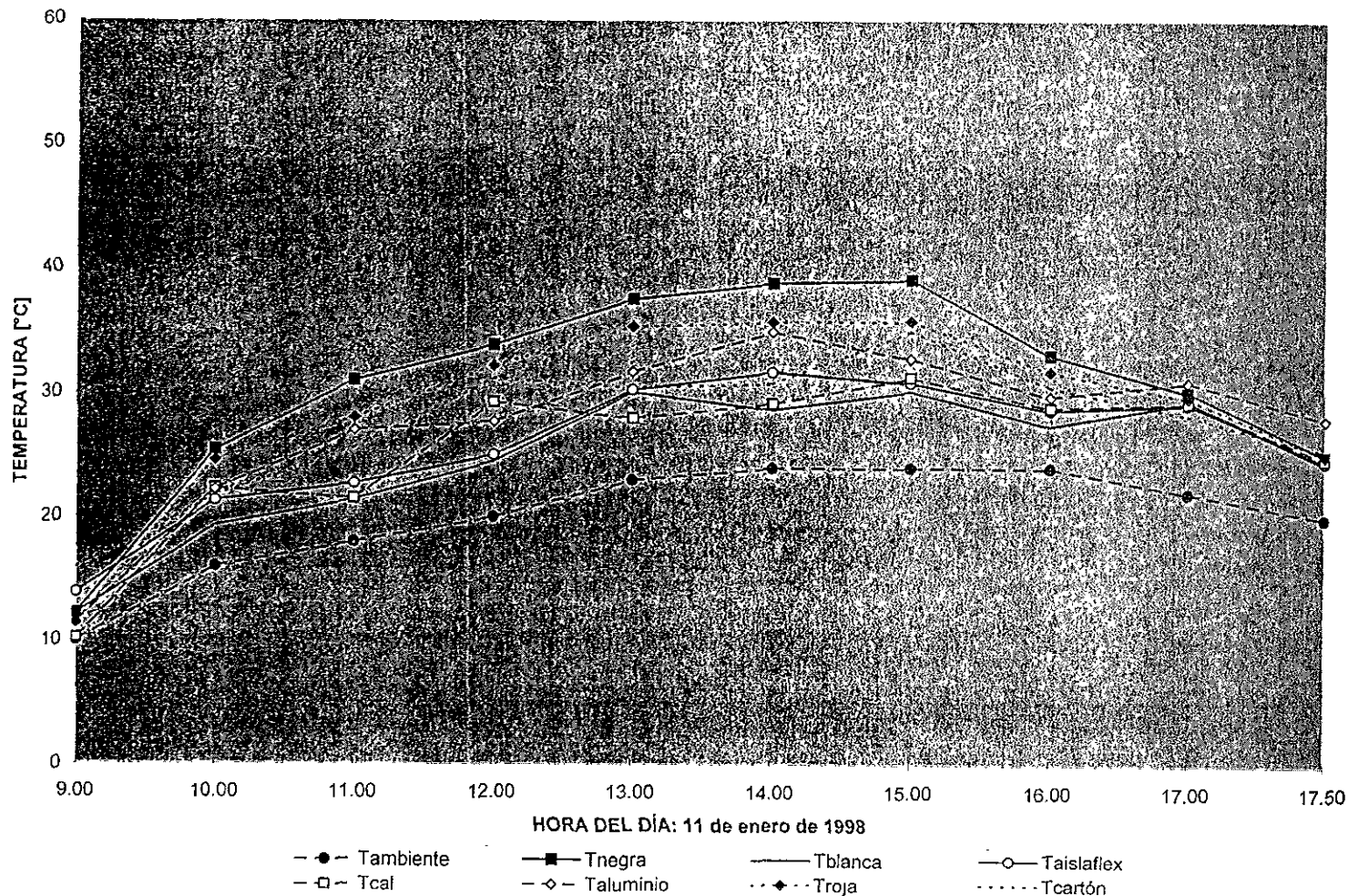


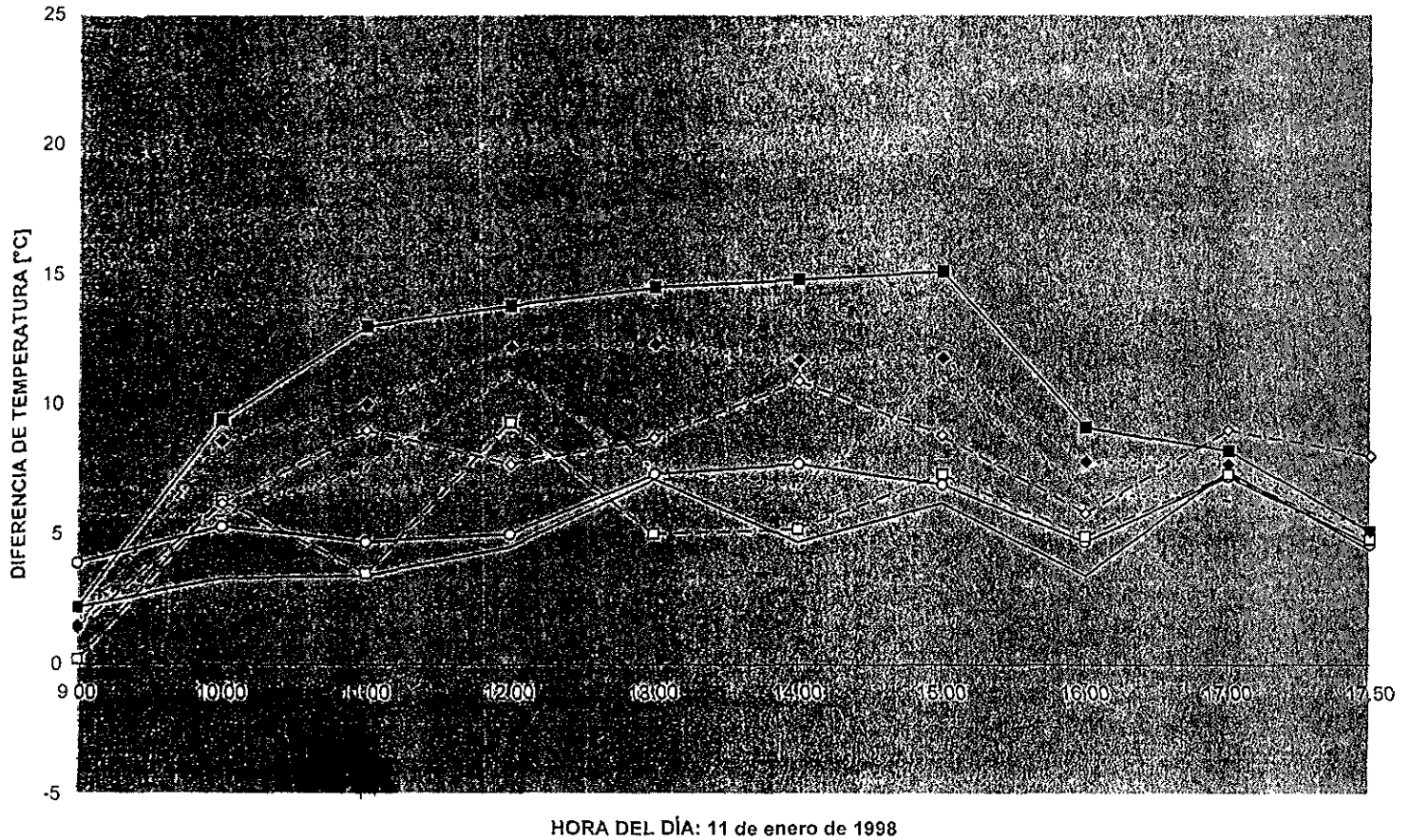
Tabla 3.5. INVIERNO: Diferencia de temperatura entre la superficie exterior del techo y el ambiente exterior (ΔT).

HORA DEL DÍA	T _{negra} [°C]	T _{blanca} [°C]	T _{aislaflex} [°C]	T _{caí} [°C]	T _{aluminio} [°C]	T _{roja} [°C]	T _{cartón} [°C]
9	2.2	2.2	3.9	0.2	1.4	1.5	5.9
10	9.4	3.3	5.3	6.3	6.2	8.6	5.7
11	13	3.4	4.7	3.5	9	10	7.6
12	13.8	4.5	5	9.3	7.7	12.2	11.2
13	14.5	7.1	7.3	5	8.7	12.3	7.5
14	14.8	4.7	7.7	5.2	10.9	11.7	6.8
15	15.1	6.2	6.9	7.3	8.8	11.8	11
16	9.1	3.4	4.7	4.9	5.8	7.8	6.6
17	8.2	6.4	7.2	7.3	9	7.7	6.3
17.5	5.1	4.4	4.6	4.8	8	5.1	5.4
PROMEDIO:	8.8	3.9	4.8	4.5	6.3	7.4	6.2

A la hora de la mayor temperatura del ambiente exterior, el recubrimiento que mantiene la menor diferencia de temperatura es el de color blanco con 3.9°C (0.9°C más que en el verano)

Según los promedios del día, la pintura negra es la que alcanza mayor diferencia de temperatura con respecto a la temperatura ambiente, y le siguen la pintura roja, la caja sin recubrimiento, la pintura de aluminio, la pintura Aislaflex, la pintura blanca común y la pintura de caí.

Figura 3.9. INVIERNO: Diferencia de temperatura entre la superficie exterior del techo y el ambiente exterior.



—■— Tnegra — Tblanca —○— Taislalex —□— Tcal —◇— Taluminio —◆— Troja —●— Tcartón

Tabla 3.6. INVIERNO: Temperatura de interiores.

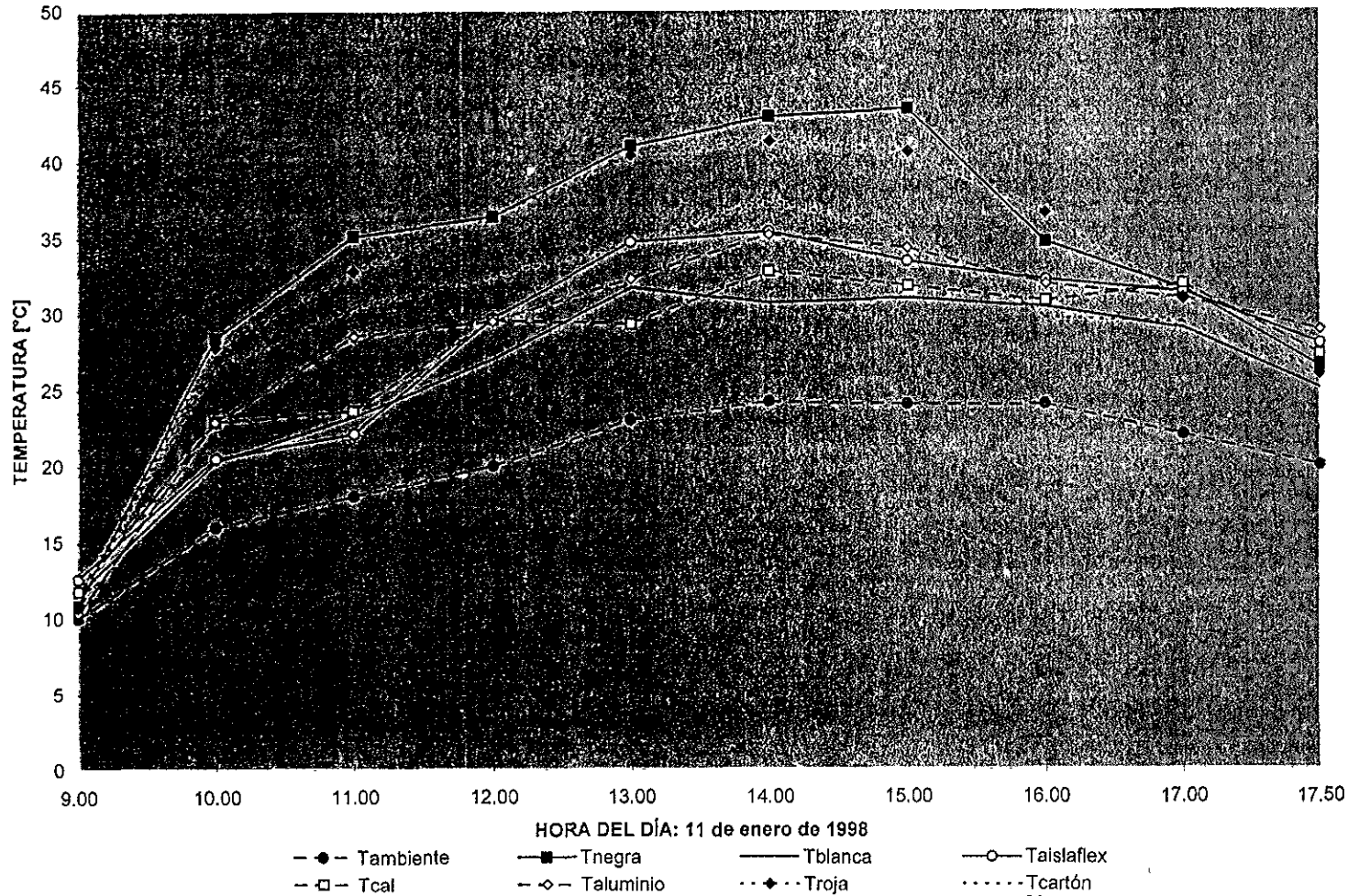
HORA DEL DÍA	T _{ambiente} [°C]	T _{negro} [°C]	T _{blanc} [°C]	T _{aislafiex} [°C]	T _{cal} [°C]	T _{aluminio} [°C]	T _{rojo} [°C]	T _{cartón} [°C]	COMENTARIOS
9	10	10.9	11.6	12.6	11.8	10.4	10.7	11.7	Medio nublado
10	16	28.4	20.3	20.5	22.9	22.9	27.8	26.5	Despejado
11	18	35.1	23.2	22.1	23.6	28.5	32.8	30.4	Despejado
12	20	36.4	27	29.7	29.6	29.5	36.4	32.5	Despejado
13	23	41	31.7	34.7	29.3	32.3	40.4	34.6	Viento ligero.
14	24.2	42.9	30.7	35.4	32.8	35.2	41.3	37.5	Viento ligero.
15	24	43.4	31	33.4	31.8	34.3	40.6	35.3	Viento ligero.
16	24	34.7	30.4	32.2	30.8	31.9	36.6	29.7	Viento ligero.
17	22	31.6	29	31.4	31.9	31	30.9	29.4	Viento ligero
17.5	20	26.5	25.1	28	27.3	28.9	26	25.8	Sombra y viento ligero.
PROMEDIO:	20.1	33.1	26.0	28.0	27.2	28.5	32.3	29.3	

La diferencia de temperatura entre las diferentes cajas está bastante marcada, lo que indica que, a pesar de que disminuye la radiación sobre los techos, sí afecta el color del recubrimiento. La pintura negra sigue siendo la que mayor temperatura alcanza y la blanca común la que menor temperatura alcanza.

Al comparar con el experimento en verano, para la caja con pintura negra se tiene una diferencia de 5.2°C en la temperatura máxima del interior, mientras que para la pintura de aluminio la diferencia es de 5.4°C. Por otra lado, para la caja con pintura blanca la diferencia es de 3.9°C, es decir, que en su interior se calienta sólo poco menos que en verano.

En este caso los valores máximos se tienen alrededor de las 14 horas, siendo los extremos para la pintura negra (43.4°C) y la blanca común (31.7°C)

Figura 3.10. INVIERNO: Temperatura de interiores.



3.7. Conclusiones del experimento demostrativo

La caja con recubrimiento negro es la que se mantuvo en promedio más “caliente” tanto en verano como en invierno, aunque la caja con recubrimiento de aluminio mantuvo más alta la temperatura y por más tiempo en invierno —principalmente en la tarde—.

Por otro lado, el mejor comportamiento térmico en verano (menor temperatura superficial) lo tuvo la caja con recubrimiento blanco común que sólo alcanzó 29.4°C, y en invierno —aunque la temperatura del techo disminuyó— la temperatura interior no cambió mucho (26.0°C) comparada con la de verano que fue de 29.2°C, lo que indica que la ganancia de calor por las paredes sí es considerable en el invierno.

Se destaca el comportamiento reflejante de la pintura de cal en invierno, que se mantuvo incluso más “fría” (28°C) que la pintura blanca (30.1°C) a las 13 horas, sin embargo su aplicación y su cuidado deben ser más intensos que para las demás pinturas, y cuando sería realmente útil es en el verano para mantener la temperatura interior más baja.

Pero se debe destacar que, en invierno, si lo que se desea es perder la menor cantidad de calor hacia el exterior (cuando se necesita calefacción en vez de enfriamiento), los mejores recubrimientos son el de color rojo y de color negro, porque mantienen una mayor temperatura de la superficie exterior del “techo” que los demás colores y pueden provocar una transferencia de calor hacia el interior, mayor mientras más grande sea la temperatura.

GANANCIA DE CALOR POR EL TECHO Y EVALUACIÓN ECONÓMICA

Como ya se vio en el capítulo anterior, de los resultados experimentales con las cajas, inmediatamente se observa un cambio en las temperaturas del “techo” y del interior de las cajas al variar el color del recubrimiento del “techo”. Por ello, ahora suponemos que las condiciones a las que están sometidas las paredes y los demás factores que afectan la temperatura interior de una vivienda real son constantes, para poder averiguar el efecto cuantitativo del cambio de color del techo de dicha vivienda.

Primeramente conviene hacer una comparación cuantitativa calculando el calor que se transfiere a través del “techo” de las cajas a lo largo del experimento para saber cuánto calor se puede rechazar al cambiar el color del recubrimiento del techo. En segundo lugar, haciendo las suposiciones antes dichas, se propone una metodología general para el cálculo de la factibilidad económica para una vivienda “real” cuando cuente con un sistema de acondicionamiento de aire.

4.1. Cálculo de la carga de calor por el “techo” de la caja

Para obtener el calor que se transfiere a través del “techo” de las cajas, se tiene la siguiente expresión:

$$q = A_t U_t (T_{\text{techo}} - T_{\text{interior}}) \quad (\text{Ec } 4.1)$$

donde q = calor transferido a través del techo [W]

A_t = área del techo [m^2]

U_t = coeficiente global de transferencia de calor a través del techo [$\text{W}/\text{m}^2\text{°C}$]

T_{techo} = temperatura experimental de la superficie exterior del techo [$^{\circ}\text{C}$]

T_{interior} = temperatura experimental del ambiente interior de la caja [$^{\circ}\text{C}$]

Haciendo los cálculos del flujo de calor por unidad de área (q'') se tiene:

$$q'' = q / A_t = U_t (T_{\text{techo}} - T_{\text{interior}}) \quad (\text{Ec. 4.2})$$

mientras que el U_t , conociendo que el material de las cajas es cartón corrugado (conductividad térmica $k = 0.046 \text{ W/m}^\circ\text{C}$) de 3 mm de espesor, se calcula como:

$$U_t = 1 / (1/h_{\text{int}} + x / k + 1/h_{\text{ext}}) \quad (\text{Ec. 4.3})$$

donde h_{int} = conductancia superficial interior [$\text{W/m}^2\text{C}$]

x = espesor del cartón [m^2]

k = conductividad térmica del cartón [$\text{W/m}^\circ\text{C}$]

h_{ext} = conductancia superficial exterior [$\text{W/m}^2\text{C}$]

y suponiendo valores constantes de $h_{\text{int}} = 9.3 \text{ W/m}^2\text{C}$ y $h_{\text{ext}} = 43.0 \text{ W/m}^2\text{C}$, resulta:

$$U_t = 1 / (1/9.3 + 0.003 / 0.046 + 1/34.0) = 4.95 \text{ W/m}^2\text{C}$$

Finalmente, para este experimento:

$$q'' = 4.95 (T_{\text{techo}} - T_{\text{interior}}) \quad (\text{Ec. 4.4})$$

con lo que, en las siguientes tablas y gráficas, se tienen los resultados para las cajas con diferentes colores, así como para los dos experimentos, es decir, en verano y en invierno.

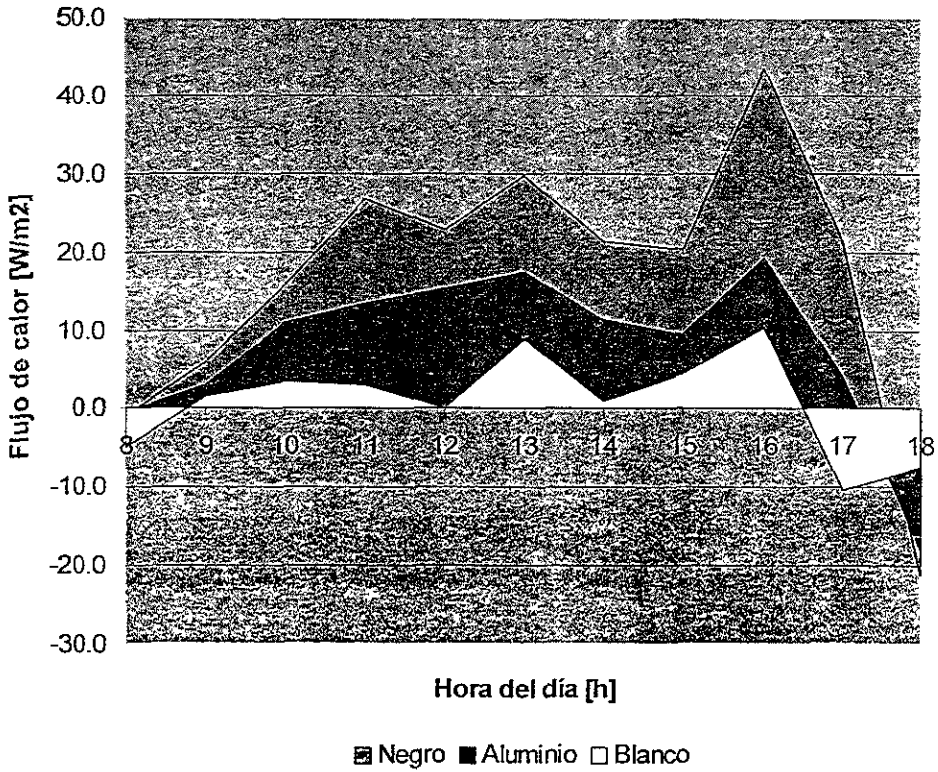
La suma de q'' a lo largo del experimento es, aproximadamente, la energía (en watt-hora por metro cuadrado [Wh/m^2]) que se transfiere desde o hacia el interior de la caja en el período de tiempo dado, es decir:

$$E = \sum (q''_i t_i) \quad (\text{Ec. 4.5})$$

donde E = energía transferida desde o hacia el interior de la caja [Wh/m^2]

t = tiempo entre las mediciones experimentales [h]

Figura 4.1. VERANO: Flujo de calor a través de los “techos”.



y gráficamente, la E es el área bajo la curva $q''-t$.

Tabla 4.1. VERANO: Flujo de calor a través de los techos.

HORA DEL DÍA	q'' negro [W/m²]	q'' aluminio [W/m²]	q'' blanco [W/m²]
8	-0.99	-4.95	-0.49
9	5.94	1.49	2.97
10	15.84	3.47	10.89
11	26.73	2.97	13.37
12	22.77	0.00	15.35
13	29.70	8.91	17.33
14	21.29	0.99	11.39
15	20.30	4.45	9.40
16	43.56	10.40	19.31
17	21.29	-10.40	3.96
18	-21.29	-7.43	-17.82
E [Wh/m²]	185.13	9.90	85.64

Tabla 4.2. INVIERNO: Flujo de calor a través de los "techos".

HORA DEL DÍA	q''_{negro} [W/m ²]	q''_{blanco} [W/m ²]	q''_{aluminio} [W/m ²]	$q''_{\text{aislaflex}}$ [W/m ²]	q''_{cal} [W/m ²]	q''_{rojo} [W/m ²]
9	6.44	2.97	4.95	6.44	-7.92	3.96
10	-14.85	-4.95	-3.47	3.96	-2.97	-15.84
11	-20.30	-8.91	-7.43	2.97	-10.40	-23.76
12	-12.87	-12.38	-8.91	-23.27	-1.49	-20.79
13	-17.33	-7.92	-2.97	-21.78	-6.44	-25.25
14	-20.30	-9.90	-1.49	-18.32	-17.82	-27.72
15	-21.29	-3.96	-7.43	-12.38	-2.48	-23.76
16	-7.92	-14.85	-10.40	-17.33	-9.41	-23.76
17	-6.93	1.98	0.00	-10.89	-12.87	-5.94
17.5	-6.93	-3.47	-4.45	-16.83	-12.38	-4.45
E [Wh/m ²]	-122.27	-61.38	-41.58	-107.42	-84.15	-167.31

Figura 4.2. INVIERNO: Flujo de calor a través de los "techos".

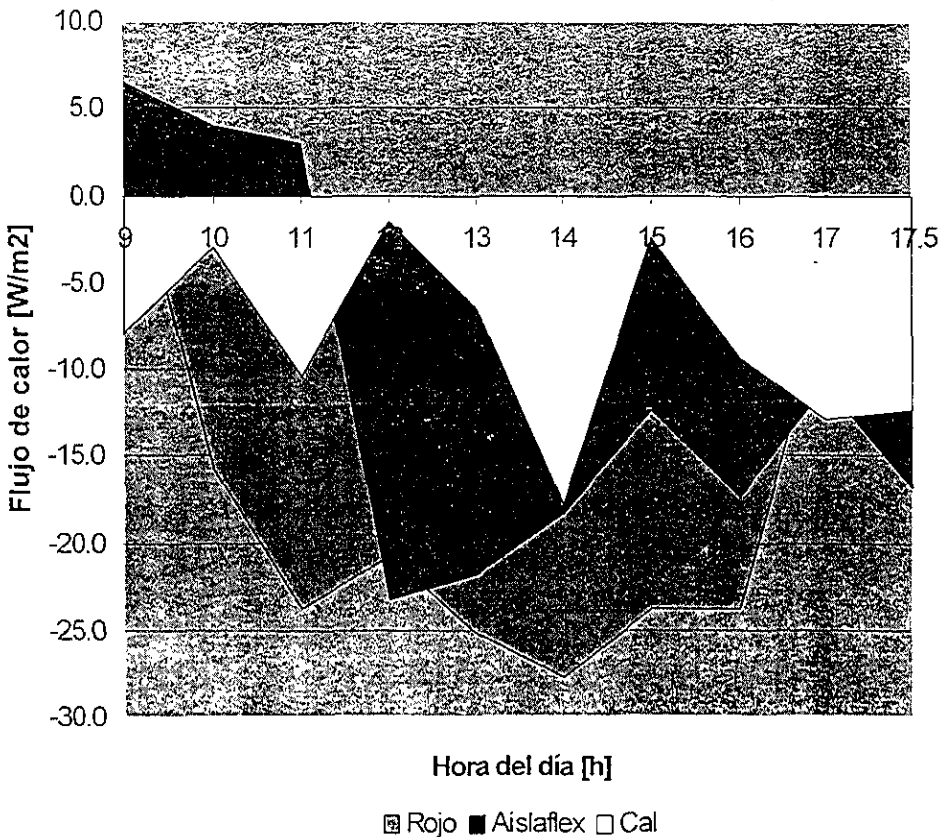
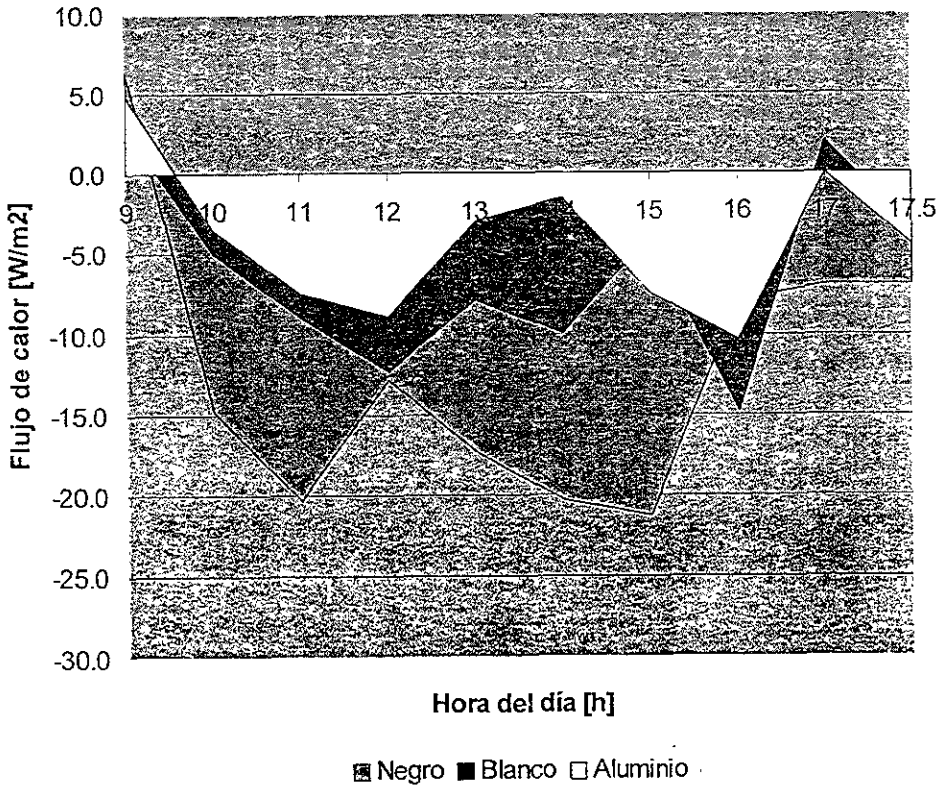


Figura 4.2. Continuación.



Tomando como base la caja con recubrimiento de color negro, se puede calcular la disminución porcentual de flujo de calor a través de los techos (%D) de los otros colores, usando la siguiente expresión:

$$\%D = (q''_{\text{negro}} - q''_{\text{color}}) / q''_{\text{negro}} \times 100 \quad (\text{Ec. 4.6})$$

Así, en verano, para el color blanco:

$$\%D_{\text{blanco}} = (185.13 - 9.90) / 185.13 \times 100 = 94.65 \%$$

y para el color aluminio:

$$\%D_{\text{aluminio}} = (185.13 - 85.64) / 185.13 \times 100 = 53.74 \%$$

En invierno, por los resultados, es evidente que el flujo de calor es hacia el exterior porque la superficie externa de los techos está menos caliente que el interior de las cajas. Así, la disminución porcentual de flujo de calor a través del techo indica esta pérdida comparada con la del techo de color negro.

Para el color blanco se tiene:

$$\%D_{\text{blanco}} = (-122.27 - (-61.38)) / -122.27 \times 100 = 47.84 \%$$

para el color de aluminio:

$$\%D_{\text{aluminio}} = ((-122.27 - (-41.58)) / -122.27 \times 100 = 65.99 \%$$

para el color blanco Aislaflex:

$$\%D_{\text{Aislaflex}} = ((-122.27 - (-107.42)) / -122.27 \times 100 = 12.15 \%$$

para el recubrimiento de cal:

$$\%D_{\text{cal}} = ((-122.27 - (-84.15)) / -122.27 \times 100 = 31.18 \%$$

y para el recubrimiento rojo:

$$\%D_{\text{rojo}} = ((-122.27 - (-167.31)) / -122.27 \times 100 = -36.84 \%$$

El signo negativo para el porcentaje del techo de color rojo indica que con este recubrimiento se pierde aún más calor del que se pierde con el recubrimiento negro

4.1.1. Conclusiones

De estos resultados vemos como, en verano, el color blanco tiene el mejor comportamiento al tener la mayor disminución porcentual de flujo de calor con respecto al techo de color

negro de 94.65%; mientras que el techo con recubrimiento de aluminio sólo alcanza el 53.74% de disminución, apenas más de la mitad de la disminución con el recubrimiento blanco.

Por otro lado, es importante la interpretación que se le dé a los resultados del invierno, ya que para este caso específico del experimento, el mejor recubrimiento es el de aluminio al tener la mayor disminución porcentual de flujo de calor (hacia el exterior) con 65.99%, siguiéndole el color blanco con 47.84%, debido a que la temperatura del interior siempre se mantuvo arriba de la temperatura de los "techos". Sin embargo, para el caso de una vivienda real en invierno, generalmente se tiene una temperatura interior menor a la del techo, por lo que mientras mayor sea la temperatura de éste, mayor flujo de calor se tendrá hacia el interior, mejorando el confort interior al incrementarse la temperatura. Así, el mejor recubrimiento para una casa real en invierno sería el de color rojo o el de color negro.

Aquí también sobresale cómo el recubrimiento blanco Aislaflex sólo alcanzó el 12.15% de disminución, explicándose probablemente por su acabado opaco y rugoso.

4.2. Metodología general para el cálculo de la factibilidad económica del uso de pinturas reflejante en los techos de viviendas para época de verano

Supongamos ahora una vivienda de un solo nivel de 8 m de largo por 7 m de ancho (área asoleada de 56 m²) por 2.5 m de altura, donde se tiene instalado un equipo de acondicionamiento de aire de 3 toneladas de refrigeración (3 TR = 10.548 kW) que trabaja 8 horas al día cuando el techo está recubierto de un impermeabilizante de color negro (condición de comparación).

El calor transferido por el techo (q) está dado por la Ec. 4.1:

$$q = A_t U_t (T_{\text{techo}} - T_{\text{interior}})$$

donde, ahora, la diferencia de temperatura se obtiene con la temperatura promedio experimental de la superficie exterior del techo y la temperatura interior de la habitación, considerando esta última como constante e igual a 26°C para verano. La U_t se calcula con la

Ec. 4.3 para un techo de concreto de 10 cm de espesor ($k_{\text{concreto}}=1.74 \text{ W/m}^\circ\text{C}$) recubierto con un impermeabilizante asfáltico negro de 2 cm de espesor ($k_{\text{impermeabilizante}}=0.17 \text{ W/m}^\circ\text{C}$), resultando:

$$U_t = 1 / (1/9.3 + 0.1 / 1.74 + 0.02 / 0.17 + 1/34.0) = 3.20 \text{ W/m}^2\text{C}$$

por lo que, usando las temperaturas promedio del experimento:

COLOR DEL TECHO	$T_{\text{techo}} [^\circ\text{C}]$	$q \text{ [kWt]}$
Negro	40.6	2.61632
Blanco	29.4	0.60928
Aluminio	34.0	1.43360

Considerando una relación de eficiencia energética¹ REE=2.4 kWt/kWe y un tiempo de trabajo del equipo de acondicionamiento de $t=8 \text{ h}$ por día, se tiene la potencia eléctrica total (P):

$$P = q t / \text{REE} \quad (\text{Ec. 4.7})$$

y, debido a que el recubrimiento impermeabilizante más económico es el de color negro, y ya que a través del tiempo por la suciedad y el polvo los recubrimientos tienden a volverse de color "negro", el ahorro está definido como:

$$\text{Ahorro} = P_{\text{negro}} - P_{\text{color}} \quad (\text{Ec. 4.8})$$

COLOR DEL TECHO	$P \text{ [kWhe/día]}$	Ahorro [kWhe/día]
Negro	8.7211	0
Blanco	2.0309	6.6902
Aluminio	4.7787	3.9424

¹ La relación de eficiencia energética es el valor que representa la eficiencia eléctrica relativa de un acondicionador de aire, expresada en watts térmicos (WT) entre watts eléctricos (We), y se obtiene dividiendo la capacidad de enfriamiento o calentamiento medido en WT entre la potencia eléctrica promedio de entrada en We

De la tabla se observa inmediatamente que con el color blanco se obtiene un mayor ahorro que con el color aluminio, sin embargo, se debe hacer un análisis económico para saber si se generan beneficios superiores a los costos, y así seleccionar la alternativa de mayor viabilidad al usar pinturas de colores diferentes al negro.

Existen diferentes medidas para el análisis de los resultados, entre las que se encuentran el análisis Beneficio/Costo, el período de recuperación del capital invertido y la tasa de recuperación mínima atractiva (TREMA).

A continuación se tiene el análisis Beneficio/Costo porque es una buena medida absoluta de la rentabilidad de las inversiones, ya que compara el ahorro periódico obtenido en valor presente con la inversión inicial.

4.2.1. Análisis Beneficio/Costo

Si se multiplica el *ahorro* por 30 días de uso en un mes, se tiene el ahorro mensual de energía eléctrica (AME):

$$AME = 30 \cdot \text{Ahorro} \quad (\text{Ec. 4.9})$$

y multiplicando por el precio estimado de la energía eléctrica (PEE), tomando el precio del kWh/e sin subsidio para el mes de agosto de 1998, que es de 1.139 \$/kWh/e, y suponiendo el costo mensual de operación (CMO) igual a cero, se obtiene el ahorro neto mensual (A):

$$A = AME \cdot PEE - CMO \quad (\text{Ec. 4.10})$$

COLOR	AME [kWh/e/mes]	A [\$/mes]
Blanco	200.706	228.60
Aluminio	118.272	134.71

Para manejar la misma base comparativa con respecto a los costos, el ahorro mensual se traslada a valor presente (VP) considerando un período $n=6$ meses de vida útil (VU) de los

recubrimientos y una tasa de descuento $i = 0.4166\%$ (5% anual $\div 12$ meses) cuando se deja de ahorrar para hacer esta inversión, con la siguiente expresión

$$VP = A (1 - (1 + i)^{-n}) / i \quad (\text{Ec. 4.11})$$

resultando un factor de valor presente igual a 5.9135, por lo que se tiene el siguiente beneficio a valor presente (VP):

COLOR DEL TECHO	VP [\\$]
Blanco	1351.84
Aluminio	796.61

Así, el valor presente del ahorro es el *beneficio* (B) que se obtiene con las pinturas blanca y de aluminio, siendo mayor el de la pintura blanca, en 69%.

Si el costo de aplicación (PA) del recubrimiento es de \$100.00 y el precio de las pinturas (PP) es 7.11 \$/m² para la blanca y 2.83 \$/m² para la de aluminio (ver *Tabla 1.6*), multiplicando por el área de la vivienda se tiene

$$PP_{\text{blanca}} = 56(\text{m}^2) 7.11(\$/\text{m}^2) = \$ 398.16$$

$$PP_{\text{aluminio}} = 56(\text{m}^2) 2.83 (\$/\text{m}^2) = \$ 158.69$$

y el costo inicial se calcula como:

$$CI = PP + PA \quad (\text{Ec. 4.12})$$

Por lo tanto,

$$CI_{\text{blanca}} = \$ 398.16 + \$ 100 = \$ 498.16$$

$$CI_{\text{aluminio}} = \$ 158.69 + \$ 100 = \$ 258.69$$

Al hacer el cociente entre el *beneficio* y el *costo inicial* (B/CI), se tiene:

COLOR	B/CI
Blanco	2.71
Aluminio	3.08

Como estos valores son mayores a 1.0, el capital invertido se recupera en un tiempo menor al de la vida útil del recubrimiento, por lo que, en primera instancia, el uso de pinturas reflejantes sí es conveniente.

Ahora se usa el *período de recuperación de capital*, ya que es una medida detallada de evaluación económica que indica en qué tiempo el inversionista empieza a tener los beneficios de la inversión que ha hecho

4.2.2. Recuperación de capital

Para obtener el período de recuperación del capital invertido tenemos la siguiente expresión:

$$n = \{-\log(-CI \cdot i / A + 1) / [\log(1+i)]\} \quad (\text{Ec. 4.13})$$

Para hacer una comparación, se hace el cociente entre el valor n y la vida útil de los recubrimientos, resultando:

COLOR	n [meses]	n/VU
Blanco	2.1936	0.36
Aluminio	1.9320	0.32

Debido a que la vida útil de los recubrimientos es relativamente corta, si la inversión se recupera en menos de la tercera parte de dicha vida útil (33%), entonces se dice que la rentabilidad económica del proyecto es atractiva. Para este caso en particular sí resulta rentable el uso de pinturas reflejantes, porque la inversión se recupera en menos de la tercera parte de la vida útil de la pintura de aluminio (33%) y un poco más para la pintura blanca (36%), destacándose que la primera se paga en menor tiempo que la de color blanco, a pesar de que el uso de la pintura blanca produce un ahorro neto (A) mayor.

Al comparar el resultado de la pintura de aluminio con el del *Proyecto Piloto de Monterrey, N.L.*, hay una coincidencia en el período de recuperación de capital: 1.8 meses para el Proyecto Piloto contra 1.9 meses de estos cálculos, lo que apoya aún más los resultados obtenidos.

4.2.3. Conclusiones

Con la medida preliminar *Beneficio/Costo* se muestra que sí se obtiene un ahorro por el uso de pinturas reflejantes, y utilizando el *Período de Recuperación de Capital* se confirma la rentabilidad del uso de pinturas reflejantes en techos de viviendas para ahorrar energía eléctrica, ya que el tiempo de recuperación es menor del 33% tanto para la pintura blanca como para la pintura de aluminio.

El beneficio cuantificable para el usuario es la cantidad que anualmente deja de pagar por consumo de energía eléctrica necesaria para el sistema mecánico de acondicionamiento del aire para obtener las condiciones de confort. Y aún más, si la aplicación del recubrimiento se hiciera por el propietario de la vivienda, el costo de aplicación (PA) sería cero y se mejoraría el tiempo de recuperación del capital invertido en 20% para el color blanco y 64% para el color aluminio, como se muestra en la siguiente tabla:

COLOR	n [meses]	n/VU
Blanco	1.7517	0.29
Aluminio	0.6966	0.12

Así, se obtiene una mejora en el tiempo de recuperación, logrando una relación n/VU menor al 30% en ambos casos, siendo muy atractiva para el color aluminio.

Según lo descrito hasta ahora, y para la evaluación económica, sólo se considera el beneficio en el período de verano, ya que en esta temporada incide una alta radiación solar por un período definido de seis meses, contrario al invierno, que consideramos no influye en dicha evaluación económica, ya que sus períodos son indefinidos y, por las condiciones ambientales, los materiales pierden sus propiedades reflejantes, aumentando la ganancia de calor en las viviendas

Además, en caso que no se cuente con sistemas de aire acondicionado, es importante mencionar que se obtiene un mejor confort (menos 8.9°C en promedio de la temperatura superficial de los techos, con respecto al color negro) para los usuarios de las viviendas, y éste no tiene un valor agregado que nos permita evaluarlo económicamente.

**ESTA TERCERA PARTE
SALIR L. LA SALUDABLE**

CONCLUSIONES GENERALES

1. Cuando sólo se busca la propiedad impermeabilizante o bien en la época invernal, el recubrimiento color negro es el más económico, lo que explica su uso tan generalizado; pero cuando se trata de confort térmico o ahorro energético en la época de verano, es el peor porque absorbe la mayor parte del calor por radiación que llega a su superficie.
2. De los datos recolectados se concluye que las pinturas blancas comunes nuevas logran la mayor disminución de flujo de calor a través de los techos en verano (es decir que son las mejores pinturas reflejantes) y producen una mejora sensible en el confort interior de una vivienda que no cuente con sistema de acondicionamiento de aire, aunque disminuyen significativamente poco (por el deterioro de sus propiedades reflejantes) el flujo de calor hacia el interior en el invierno, cuando se necesita precisamente el fenómeno contrario.
3. El uso de pinturas de aluminio en los techos de viviendas también produce una mejora considerable en el confort interior de las mismas cuando no se cuenta con sistema de acondicionamiento de aire, aunque no tan buena como la que se obtiene con la pintura de color blanco. Por otro lado, la baja emitancia del aluminio hace de las pinturas de aluminio más recomendables en invierno por perder menor calor que las pinturas no-metálicas comunes.
4. Según la evaluación económica para el caso tratado en particular y cuando se cuenta con un sistema de acondicionamiento de aire, la aplicación de pinturas reflejantes en los techos de viviendas produce un ahorro de energía rentable, tanto mejor con la pintura de aluminio que con la blanca, debido a que el tiempo de recuperación de la inversión es de alrededor de la tercera parte de la vida útil de las pinturas reflejantes, cuando se considera su vida útil como superficie reflejante de tan sólo seis meses.
5. Se recomienda necesario indicar las propiedades térmicas —como la reflectancia y la emitancia— en los recipientes de las pinturas y recubrimientos para techos, así como las recomendaciones que se deben tener para prolongar la vida de los mismos como materiales reflejantes de la radiación solar, para poder seleccionar el más adecuado.

REFERENCIAS

BIBLIOGRAFÍA

1. Almanza Salgado, Rafael y Muñoz Gutiérrez, Felipe
Ingeniería de la energía solar
El Colegio de México
México, 1994.
2. Guía para la aplicación de criterios de eficiencia energética en construcciones para uso habitacional
Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE)
México.
3. D. A. Sámano, et al
Carga térmica en un edificio con almacenamiento térmico
División de Estudios de Posgrado. Facultad de Arquitectura, UNAM
México.
4. López Campos, Carlos Enrique
Física de la energía solar
Universidad Autónoma de Chapingo
México, 1990.
5. Camus, Roger y Watson, Donald
El hábitat bioclimático
Ediciones G. Gili
México, 1983.
6. Hinrichs, Roger A.
Energy
Saunders College Publishing
E.U.A., 1990.
7. Incropera, Frank P. y DeWitt, David P.
Fundamentals of Heat and Mass Transfer
Edit. John Wiley & Sons
E.U.A. 1990.
8. Rivas Vidal, Alejandro
Anteproyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-000-SEDESOL-1993, que establece las especificaciones y métodos de verificación que debe cumplir la parte opaca de los techos y muros de las edificaciones en función de su comportamiento térmico en las distintas zonas climáticas
México, 1994.

9. Reflective Insulation and the Control of Thermal Environments
Winstone Wallboards Ltd.
Nueva Zelanda.
10. Fairey, Philip
Radiant Energy Transfer and Radiant Barrier Systems in Buildings. Nota de diseño
Florida Solar Energy Center
E.U.A., 1986
11. Boletín técnico informativo del recubrimiento aislante térmico Thermo-Aislant
Pinturas Industriales de Salamanca, S.A. de C.V.
México
12. Mirror Seal. Instrucciones de aplicación
Innovative Formulations Corporation
E.U.A.
13. Aluminum Pigments and Pastes. Reporte técnico
Metales Atomizados, S.A.
México.
14. Alukote Thermalum. Notas técnicas
San Industrial, S.A. de C.V.
México, 1991.
15. Temperature Reduction and Energy Savings using Reflective Foil in the Roof Reporte de investigación
Duroid Limited
Nueva Zelanda, 1993.
16. Una tecnología de punta para el confort térmico. Reporte técnico
Syaasa
México, 1995.
17. Lazcano Serrano, Fernando y Ramírez Hernández, Teresa
Control pasivo de la radiación solar mediante recubrimiento de baja absorptancia
Comisión Nacional para el Ahorro de Energía
Mérida, México, 1996.
18. Fleming Payne, Henry
Tecnología de pinturas. Tomo II
Edit. Blume
España, 1973.
19. Hess, Manfred
Defectos de la capas de pinturas
Edit. Blume
España, 1973.

20. Pigments for Aluminized Roof Coatings. Folleto informativo
Alcoa Aluminum
E.U.A.
21. Tonda, Juan
El oro solar y otras fuentes de energía. Colección La Ciencia desde México No. 119
Edit. Fondo de Cultura Económica
México, 1993.
22. Wilson, Alex
Consumers Guide to Home Energy Savings
American Council for an Energy Efficient Economy
E.U.A., 1991.

INTERNET

1. Florida Solar Energy Center:
<http://www.fsec.ucf.edu/>
2. Heat Island Group:
<http://eande.lbl.gov/EAP/BEA/HIP/himain.html>
3. Color and Energy Matters:
<http://www.lava.net/~colorcom/energy-matters.html>

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Colocación de barreras radiantes.
- Figura 2. Espectro de la radiación solar.
- Figura 3. Movimiento de la tierra alrededor del sol.
- Figura 4. Insolación diaria en un día despejado a lo largo del año para una superficie horizontal y una superficie vertical.
- Figura 5. Características solares e infrarrojas de algunos materiales opacos.
- Figura 1.1. Reflectancia de diferentes superficies.
- Figura 1.2. Comparación entre los efectos de radiación entre una pintura de aluminio y una pintura blanca.
- Figura 2.1. Fuentes de carga de acondicionamiento anual para una casa típica de 140 m² en Florida, E.U.A.
- Figura 2.2. Proporciones de calor a través del techo en verano.
- Figura 2.3. Configuración de la instalación de techos flexible.
- Figura 2.4. Temperatura del aire registrada en el centro del ático en la instalación de techos flexible.
- Figura 2.5. Comparación de la temperatura interior de techos.
- Figura 2.6. Comparación de la temperatura de exterior de techos.
- Figura 3 1. VERANO: Cajas con diferentes recubrimientos.
- Figura 3.2. INVIERNO: Cajas con diferentes recubrimientos.
- Figura 3.3. VERANO: Arreglo de instrumentación y orientación de las cajas.
- Figura 3.4. INVIERNO: Arreglo de instrumentación y orientación de las cajas.
- Figura 3 5. VERANO: Temperatura de la superficie exterior de los techos.
- Figura 3 6. VERANO: Diferencia de temperatura entre la superficie exterior del techo y el ambiente exterior.
- Figura 3.7. VERANO: Temperatura de interiores.
- Figura 3.8. INVIERNO: Temperatura de la superficie exterior de los techos.
- Figura 3.9. INVIERNO. Diferencia entre la superficie exterior del techo y el ambiente exterior.
- Figura 3.10. INVIERNO. Temperatura de interiores.
- Figura 4 1. VERANO. Flujo de calor a través de los "techos".
- Figura 4 2. INVIERNO. Flujo de calor a través de los "techos"

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Reducción de carga térmica total. Experimento en Karns, Tennessee.
- Tabla 1.1. Características de pinturas blancas.
- Tabla 1.2. Características de pinturas coloreadas.
- Tabla 1.3. Poder cubriente contra reflectancia de pinturas de aluminio.
- Tabla 1.4. Concentraciones recomendadas para pinturas de aluminio.
- Tabla 1.5. Características de pinturas de aluminio.
- Tabla 1.6. Precios de recubrimientos de diferentes colores.
- Tabla 2.1. Temperatura de techos en Austin, Texas.
- Tabla 2.2. Temperatura de techos, según el estudio del LBL.
- Tabla 2.3. Proyecto piloto en Monterrey, N.L.
- Tabla 3.1. VERANO: Temperatura de la superficie exterior de los techos.
- Tabla 3.2. VERANO: Diferencia de temperatura entre la superficie exterior del techo y el ambiente exterior (ΔT).
- Tabla 3.3. VERANO: Temperatura de interiores.
- Tabla 3.4. INVIERNO: Temperatura de la superficie exterior de los techos.
- Tabla 3.5. INVIERNO: Diferencia de temperatura entre la superficie exterior del techo y el ambiente exterior (ΔT).
- Tabla 3.6. INVIERNO: Temperatura de interiores.
- Tabla 4.1. VERANO: Flujo de calor a través de los techos.
- Tabla 4.2. INVIERNO: Flujo de calor a través de los "techos".