



¿PUEDE UNA PINTURA DE TECHO

reemplazar el aislamiento térmico PRODEX?

En la actualidad existen muchas alternativas diseñadas para evitar que el calor se transfiera al interior de una construcción, unas funcionan mejor que otras, esto debido a un concepto denominado **resistencia térmica o valor R**.

La resistencia térmica es la capacidad que tiene un material para resistirse al paso de calor, entre más alto sea este valor, más potente será su resistencia. Es importante recalcar que un material que no cuente con Valor R no puede ser denominado aislante térmico.

Entre los materiales capaces de resistirse al calor, se encuentran los aislantes térmico-reflectivos, estos pueden tener valores de resistencia térmica dependiendo de la emisividad de sus superficies reflectivas y la cámara de aire adyacente con la que cuenta el ensamble.

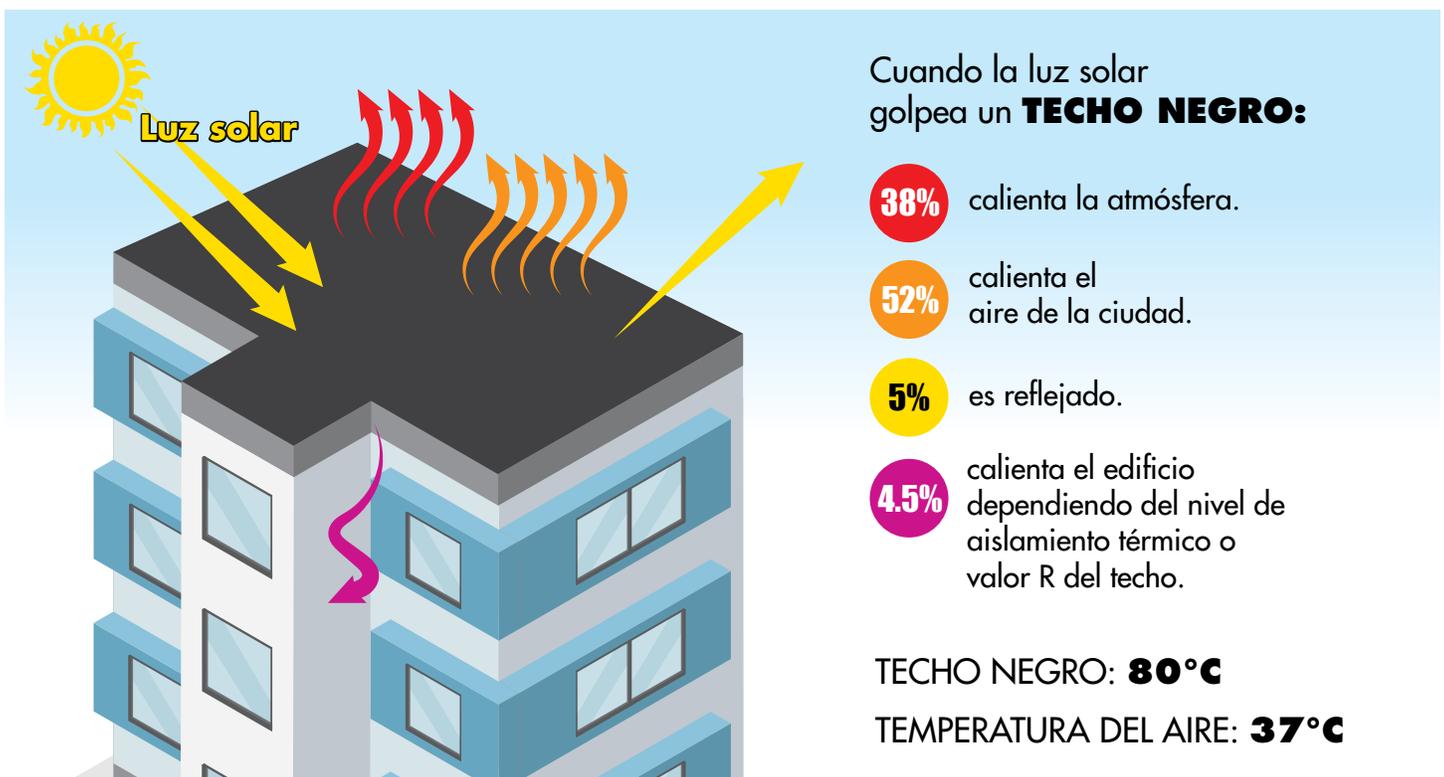
PRODEX es una empresa costarricense con distribución en más de 28 países, dedicada a desarrollar soluciones de aislamiento para la construcción, entre sus soluciones se encuentra el aislamiento térmico reflectivo, estos aislantes cuentan con una emitancia de 0.03 la cual se traduce en una reflectividad de Albedo del 0.97; en otras palabras, rechazan el 97% del calor radiante que proviene del techo o las paredes de una casa. Este valor se mide bajo el criterio de la norma ATM C1371-15.

Por otro lado, las pinturas para techos fríos, o como se les llama en inglés “Cool Roof”, son productos que permiten reducir el ingreso de calor al interior de una construcción, al reflejar la radiación solar desde la superficie exterior del techo.

En los siguientes casos podremos ver cómo actúan, tanto las pinturas, como los aislantes térmicos en diferentes techos que estén expuesto a las mismas condiciones atmosféricas.

FIGURA 1:

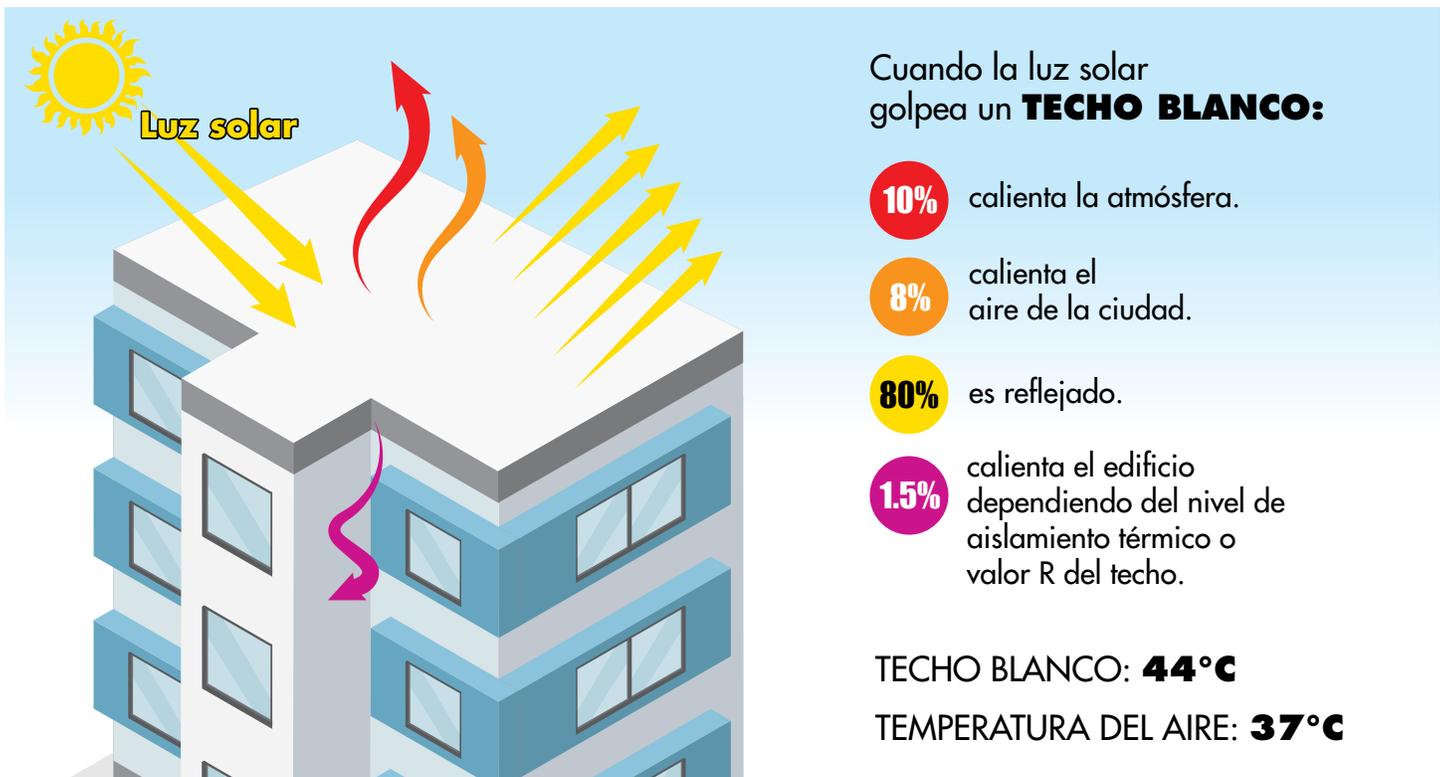
EL COMPORTAMIENTO DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR CUANDO LA LUZ SOLAR GOLPEA UN TECHO PINTADO DE NEGRO.



Nota: La figura representa un techo pintado de negro, esta opción permite de manera fácil el ingreso del calor a la construcción, haciendo que este se caliente muy por encima del calor de la temperatura del aire.

FIGURA 2

EL COMPORTAMIENTO DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR CUANDO LA LUZ SOLAR GOLPEA UN TECHO PINTADO DE BLANCO.



Nota: Al colocar ciertas pinturas de color blanco o colores claros con pigmentos que permiten reflejar un porcentaje de la radiación solar, no solo se logra bajar la temperatura del techo, sino que también reduce un porcentaje del ingreso del calor.

A continuación, términos para entender los cálculos de SRI (Solar Reflectance Index), los cuales ayudarán a resolver los casos presentes en este documento.

REFLECTANCIA SOLAR (SR O ALBEDO)

Es la fracción de luz solar (0 a 1, o de 0 a 100%) que se refleja en una superficie. El valor SR típicamente varía de aproximadamente 0.04 (o 4%) para carbón vegetal a 0.9 (o 90%) para nieve fresca o 0,97 (97%) para un aislante PRODEX. La alta reflectancia solar es la propiedad más importante de una superficie fría.

ABSORCIÓN SOLAR (SA)

Es La fracción de luz solar (0 a 1, o de 0 a 100%) que es absorbida por una superficie. Las superficies con alta absorción solar tienden a calentarse con el sol. Si la superficie es opaca, la absorción solar es igual a 1 menos la reflectancia solar.

EMITANCIA TÉRMICA (TE)

Es la eficiencia (0 a 1) con la que una superficie emite radiación térmica. La alta emisión térmica ayuda a que una superficie se enfríe al irradiar calor a sus alrededores. Casi todas las superficies no metálicas tienen una alta emitancia térmica, generalmente entre 0,80 y 0,95. El metal sin recubrimiento tiene una baja emisión térmica, lo que significa que se mantendrá caliente. Una superficie de metal sin recubrimiento que refleja tanta luz solar como una superficie blanca se mantendrá más cálida al sol porque emite menos radiación térmica. TE es la segunda propiedad más importante de una superficie fría.

ÍNDICE DE REFLEXIÓN SOLAR (SRI)

Es un indicador de frescor que compara la temperatura de la superficie de un techo, en una tarde soleada de verano con la temperatura de un techo negro limpio (SRI = 0) y un techo blanco limpio (SRI = 100). El SRI se calcula a partir de la reflectancia solar y la emitancia térmica, y puede ser menor que 0 para una superficie excepcionalmente caliente (por ejemplo, un colector solar) o mayor que 100 para un material excepcionalmente frío (por ejemplo, un techo blanco muy brillante).

En el siguiente link se puede encontrar una calculadora SRI en:

<http://coolcolors.lbl.gov/assets/docs/SRI%20Calculator/SRI-calc10.xls>

RESISTENCIA TÉRMICA (VALOR R)

Es una medida de la capacidad de un material o sistema para evitar que el calor fluya a través de él. La resistencia térmica de un techo metálico o losa de concreto se puede mejorar agregando aislamiento, una barrera radiante o ambos.

FIGURA 3

RELACIÓN ENTRE EL COLOR DE UNA SUPERFICIE Y SU CAPACIDAD DE REFLEJAR O ABSORBER CALOR.



FIGURA 4

CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES DE UN TECHO METÁLICO.



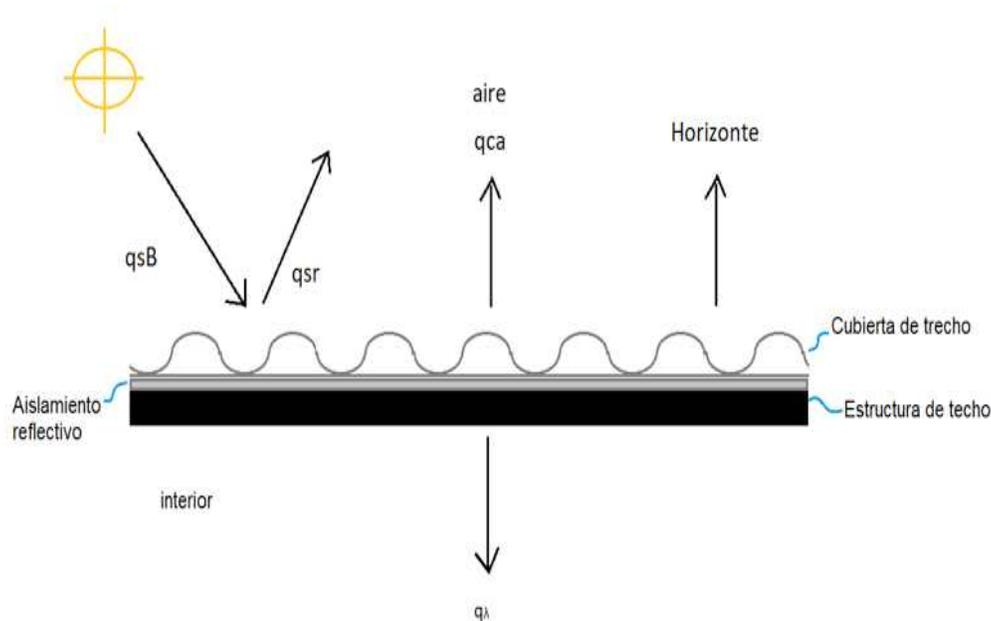
Partiendo de lo anterior, a continuación, se demuestra con cálculos matemáticos la diferencia entre aislar un techo con PRODEX y un techo con pintura convencional (con máximo valor SRI).

También se deben tomar en consideración las siguientes aclaraciones sobre el balance de energía, presentes en cada caso desarrollado:

1. El balance energía se derivó únicamente para el techo.
2. Se toma en cuenta únicamente la transferencia de calor en la dirección longitudinal, omitiendo la transferencia de calor en la dirección transversal.
3. La radiación solar que cae sobre la superficie del techo es parcialmente reflejada y absorbida por el techo. Luego el calor penetra al interior del recinto que colinda con el techo.
4. El análisis no tiene en cuenta la transferencia de calor a través de la radiación entre el techo y las paredes.
5. La temperatura ambiente justo debajo del techo se conoce a priori y está definida por el sistema de A/C.
6. El análisis se realiza en tres diferentes escenarios de temperatura ambiente 35°C, 30°C y 25°C. Estas temperaturas se evaluarán en un rango de irradiación solar desde 200 a 1000 W/m² con condiciones de cielo despejado.

FIGURA 5

FLUJO DE CALOR PARA UN TECHO AISLADO.



El balance de energía se expresa de la siguiente manera:

$$G_{s\beta} = G_{sr} + G_{sa}$$

Donde:

$G_{s\beta}$	energía emitida por el sol en ese punto cardinal y época del año
G_{sr}	energía reflejada por la pintura de la cubierta
G_{sa}	energía absorbida por la pintura de la cubierta

La reflectividad de albedo de la pintura de la cubierta de techo se puede representar por SR, esto genera las siguientes relaciones:

$$G_{sr} = SR G_{s\beta}$$

$$G_{sa} = (1 - SR) c G_{s\beta}$$

El balance de energía para la superficie externa como lo indica la figura 5 se expresa de la siguiente manera:

$$G_{sa} = q_{C-A} + q_{C-H} + q_{\lambda} \quad (1)$$

$$q_{C-A} = h_{c-a}(T_c - T_A) \quad (2)$$

$$q_{C-H} = \epsilon_c \sigma (T_c^4 - T_H^4) \quad (3)$$

$$q_{\lambda} = U_e (T_c - T_R) \quad (4)$$

Donde:

T_c	temperatura de cubierta
T_A	temperatura ambiente
h_{C-A}	coeficiente de transferencia de calor por convección
ϵ_c	emisividad de la cubierta
σ	constante de Stefan Boltzmann = $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$
T_H	temperatura resultante del horizonte según la fórmula de Swinbank: $T_H = 0,0553 T_A^{1,5} \quad (5)$
U_e	coeficiente global de transferencia de calor $U_e = \frac{1}{\sum_{i=1}^N R_i + 1/h_r} \quad (6)$
R_i	resistencia térmica de cada capa de techo
R_R	resistencia por radiación = $1/h_r$

CASO 1

SITUACIÓN: TECHO OXIDADO

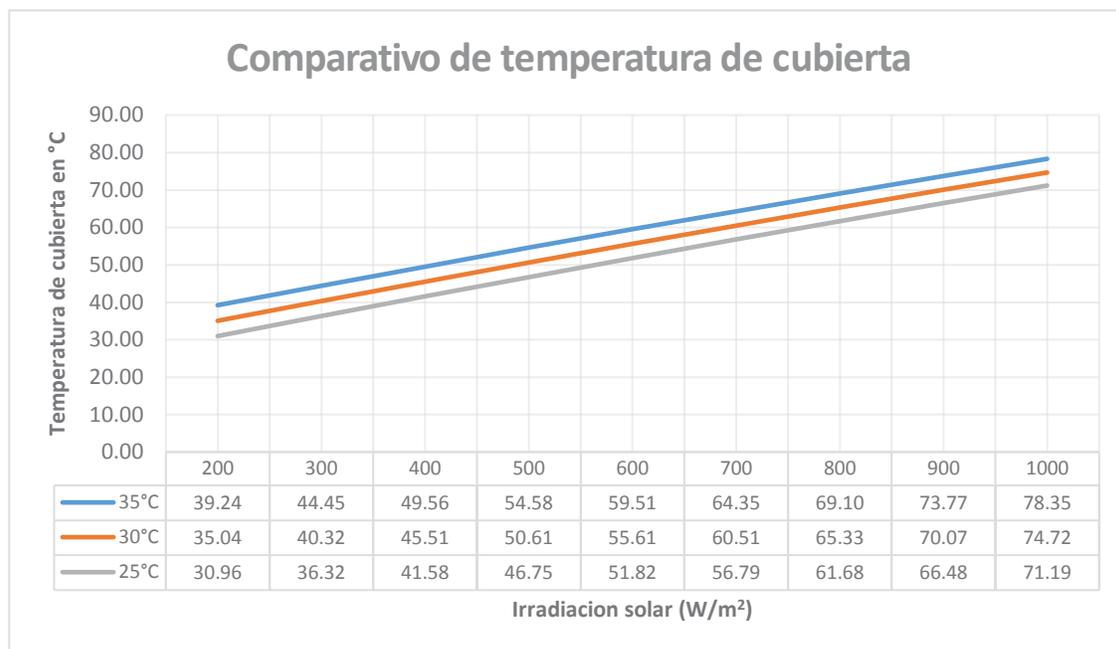
SRI= 14 (pintura convencional).

SR (Reflectividad de Albedo)= 0.2 (no refleja rayos solares).

TE (Emitancia térmica)= 0.8 (emite 80% del calor que absorbe su superficie).

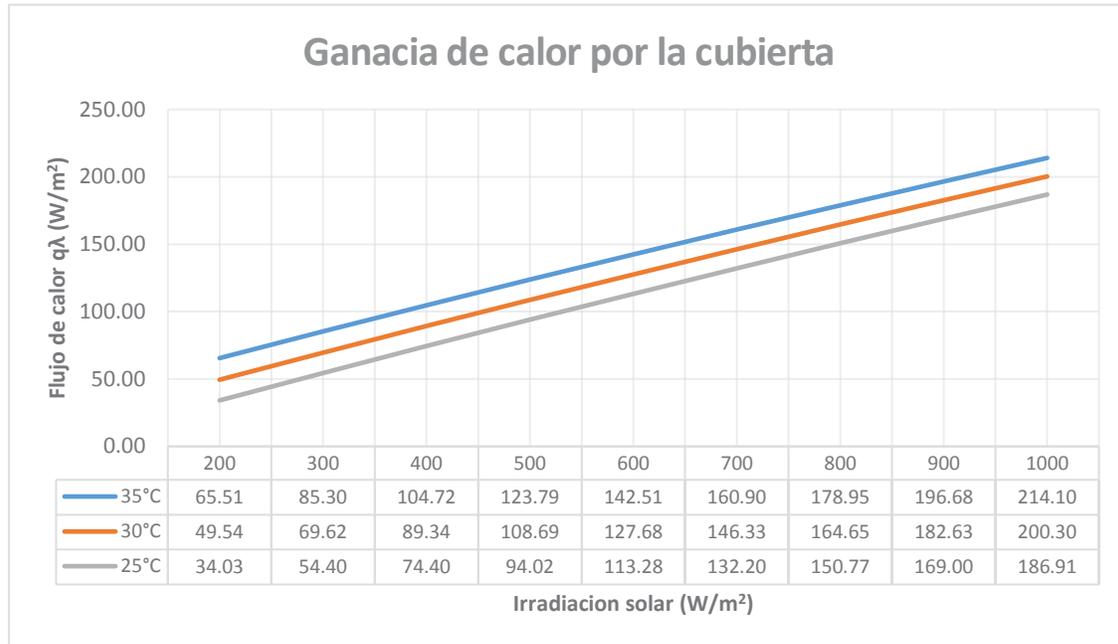
Resistencia térmica del ensamble= 0.26 m²K/W (no se resiste al paso del calor).

Temperatura interna= 22°C (temperatura suministrada por un aire acondicionado).



Nota: En este gráfico se muestra la temperatura del techo a diferentes condiciones ambientales, la irradiación solar, también conocida como radiación solar, representa la cantidad de calor proveniente del sol que recibe el techo; este valor puede cambiar en el transcurso del día y puede ir desde 200 a 1000 W/m².

Por ejemplo, en el caso 1 cuando la temperatura ambiente es de **35°C** y la irradiación solar tiene un valor de **800 W/m²** la temperatura de la cubierta de techo es de **69°C**.



Nota: La ganancia de calor es la cantidad de energía que logra pasar a través de un sistema, en este caso un techo. Por ejemplo: Si la temperatura ambiente es de 35°C y la irradiación solar tiene un valor de 800 W/m², la cantidad de calor que pasa por el techo es de 179 W/m².

En una casa con 150 m² de área de techo la cantidad total de calor que entra a la casa en una hora sería de casi 25 kWh. Energía suficiente para hervir **386 huevos**.



CASO 2

Situación: Se coloca una pintura con alto valor SRI para minimizar el efecto del paso de calor que atraviesa la cubierta de techo. Se utilizará pintura blanca con pigmento de óxido de titanio evaluada con un SRI 99.

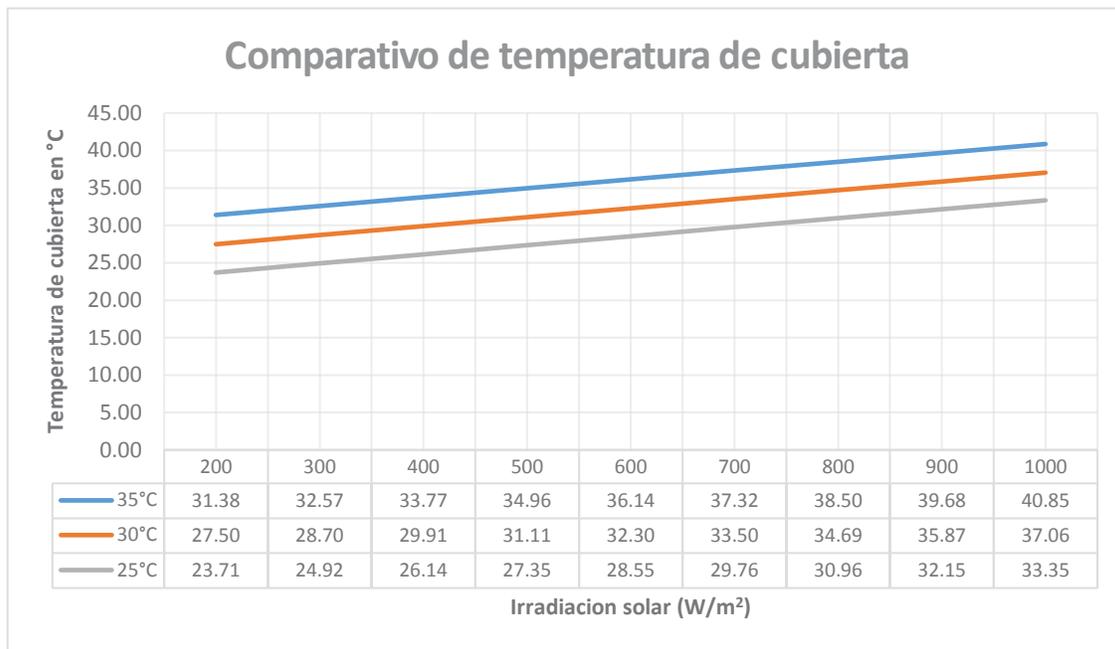
SRI= 99 (pintura con la máxima capacidad para reflejar rayos solares).

SR (Reflectividad de Albedo)= 0.85 (refleja los rayos solares).

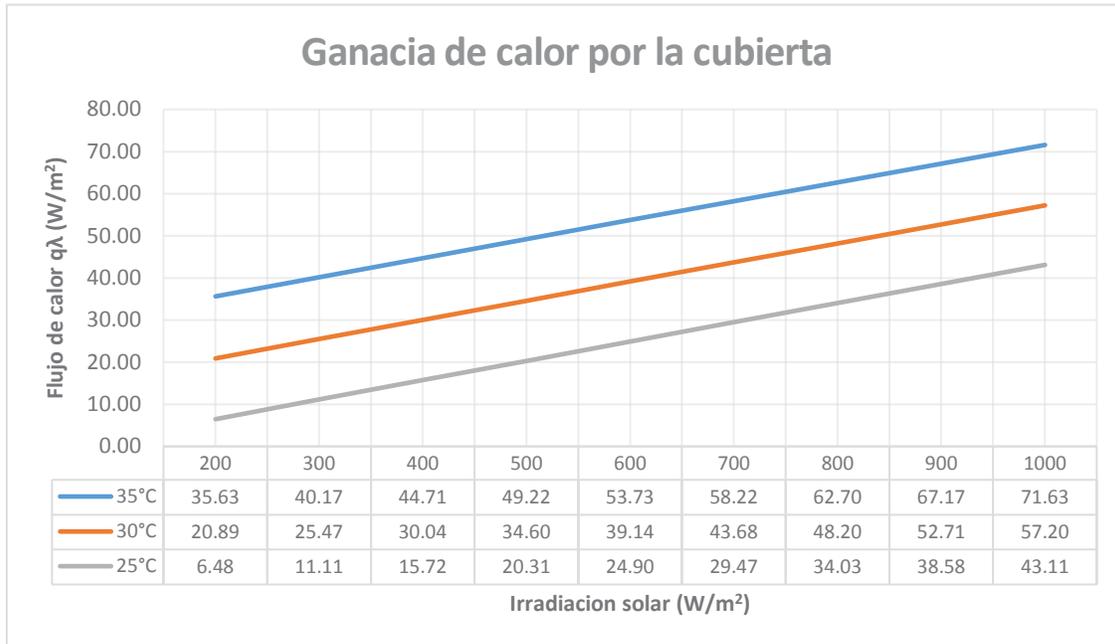
TE (Emitancia térmica)= 0.45 (emite un 45% del calor que absorbe su superficie).

Resistencia térmica del ensamble= 0.26 m²K/W (no se resiste al paso del calor).

Temperatura interna= 22°C (temperatura que suministra el aire acondicionado).



Para el mismo ejemplo del caso anterior a una temperatura ambiente de **35°C**, una irradiación solar de **800 W/m²** el techo pintado tendrá una temperatura de **38°C**.



Nota: Evaluando las mismas condiciones de **35°C** temperatura ambiente y **800W/m²** de irradiación solar, el techo permite el paso de **62 W/m²**. Para una casa de **150 m²** de área de techo la cantidad de calor que entra por hora es de **9405 Wh**, energía suficiente para hervir **135 huevos**.



Conclusión caso 2: La pintura con (Índice de reflexión solar) SRI=100 (la mejor), reduce el paso del calor, pero no aporta un dato significativo de resistencia térmica, por ende, no sustituye la necesidad de instalar un aislante térmico en techos o paredes. Estos datos suponen que la pintura tiene un mantenimiento constante, que no está sucia por el paso del tiempo y que no está dañada por los rayos ultravioleta.

CASO 3

Situación: Cubierta oxidada con un aislante AD 3 colocado entre la cubierta y la estructura de techo.

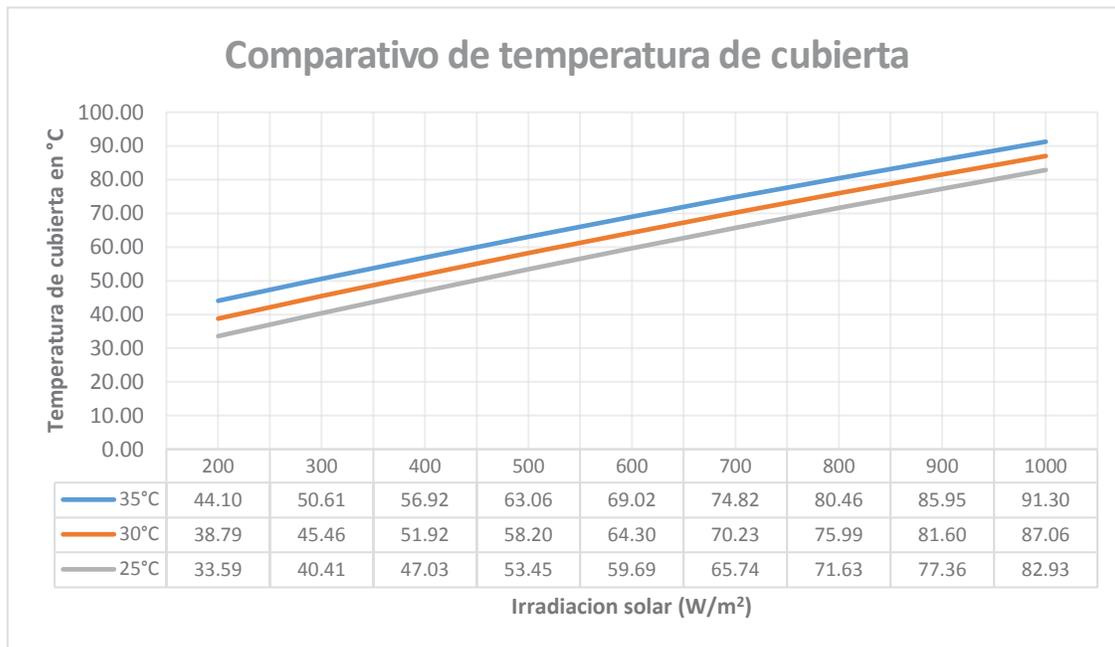
SRI= 14 (pintura convencional).

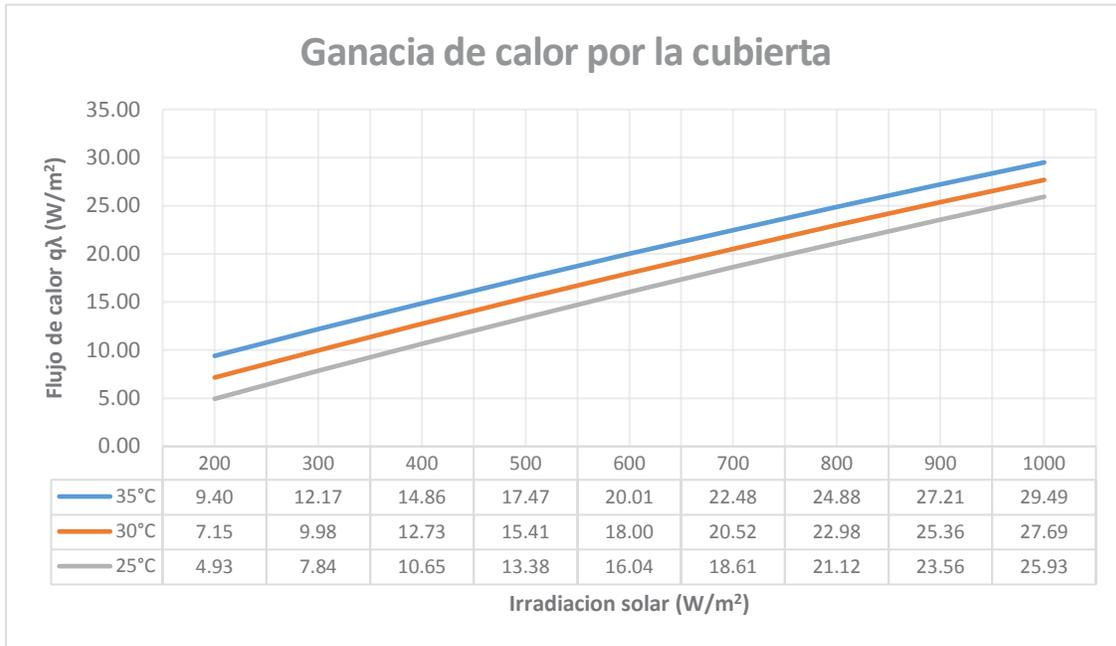
SR (Reflectividad de Albedo)= 0.2 (no refleja los rayos del sol).

TE (Emitancia térmica)= 0.8 (emite el 80% del calor que absorbe su superficie).

Resistencia térmica del ensamble= 2.35 m²K/W (se resiste al paso del calor).

Temperatura interna= 22°C (temperatura que entrega el aire acondicionado).





Nota: Para las mismas condiciones de **35°C y 800W/m²** la temperatura de techo es de 80°C y una ganancia de calor de 24.88 W/m² siguiendo el ejemplo la casa de 150 m² de área de techo el calor que entra por la cubierta es de 3732 W/m², energía suficiente para hervir **53 huevos**.



Conclusión caso 3: se puede determinar que un aislante térmico como PRODEX aporta un valor de resistencia térmica al sistema de techo de la construcción, es decir, el material es técnicamente bueno para evitar el paso del calor.

CASO 4

Situación: Cubierta de techo pintada con pintura blanca con pigmento de óxido de titanio evaluada con un SRI 99 que además está aislado con aislante AD 3 colocado entre la cubierta y la estructura de techo.

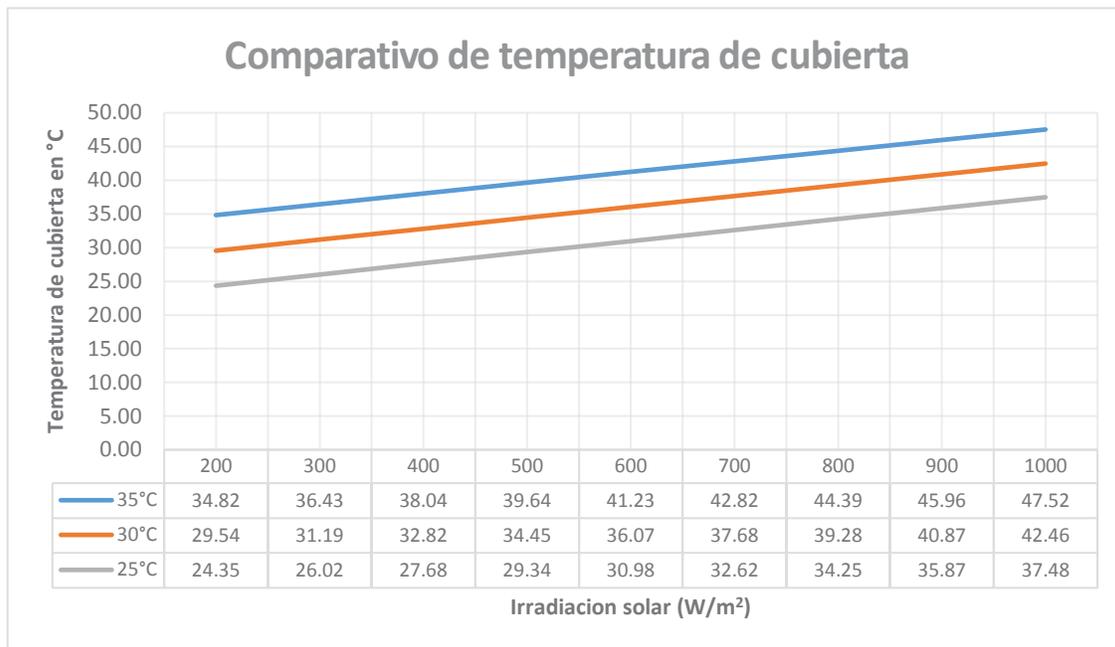
SRI= 99.

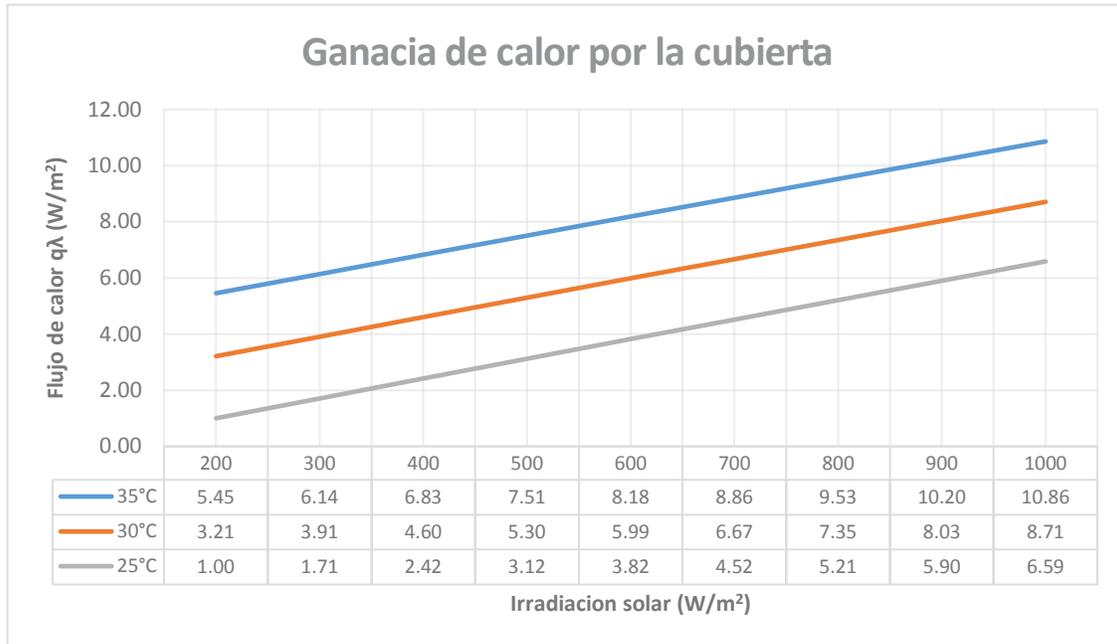
SR (Reflectividad de Albedo)= 0.85 (refleja los rayos solares).

TE (Emitancia térmica)= 0.45 (emite el 45 del calor que absorbe la superficie).

Resistencia térmica del ensamble= 2.35 m²K/W (se resiste al paso del calor).

Temperatura interna= 22°C (temperatura que suministra el aire acondicionado).





Nota: Para las mismas condiciones de **35°C y 800W/m²** la temperatura de techo es de 80°C y una temperatura de cubierta de **44°C** y una ganancia de calor de 9.53 W/m² siguiendo el ejemplo la casa de 150 m² de área de techo el calor que entra por la cubierta es de 1429 W/m², energía suficiente para hervir **20 huevos**.



Conclusión caso 4: ambas tecnologías pueden trabajar en combinación, el uso de un aislante térmico y una pintura que mantiene el techo “frío” (con su correcto mantenimiento), reduce de manera significativa el ingreso del calor a través del techo.

ANÁLISIS COMPARATIVO

Si se evalúan los 4 casos en las mismas condiciones se puede hacer una comparación de la reducción del flujo de calor que ofrece cada tecnología, contra el caso 1, en donde el techo está oxidado y no tiene aislamiento térmico.

Caso	Temperatura ambiente (°C)	Irradiación solar (W/m ²)	Temperatura de superficie exterior de la cubierta (°C)	Flujo de calor que entra al edificio (W/m ²)	Reducción de flujo de calor penetra al interior del edificio después de aplicar alguna tecnología
1	35	800	69	178	0%
2	35	800	38	62	65%
3	35	800	80	24	87%
4	35	800	44	9.5	95%

CONCLUSIONES GENERALES:

La aplicación de una pintura con el mayor valor técnico posible, ósea un SRI 100 no es suficiente protección para que un techo quede aislado térmicamente, ya que, a pesar de reducir el paso del calor, no aporta valor de resistencia térmica al sistema, dejando el techo en riesgo a volver a ganar calor en el momento que la pintura se ensucie o pierda capacidad de reflexión solar a causa de la degradación que sufrirá eventualmente por la exposición a los rayos UV.

Un fabricante de pintura con pruebas de laboratorio que validen los valores de SR y TE tendrá la capacidad de calcular y comunicar el valor del SRI según lo establecido por ASTM E1980.

Un fabricante de pintura que no pueda comunicar sus valores de SRI en la ficha técnica no tendrá argumentos técnicos para asegurar que su producto tiene un efecto positivo en la reducción de transferencia de calor al interior del edificio.

Una pintura no sustituye un aislante térmico, pero si lo puede complementar cuando ésta cuenta con un SRI alto como el del caso 4. El último caso demuestra que el uso de un aislante térmico con un valor de resistencia térmica = $2.35 \text{ m}^2\text{K/W} = 13,4 \text{ ft}^2\text{h}^\circ\text{F/Btu}$ en combinación de una pintura blanca con pigmento de óxido de titanio aplicada en la superficie exterior; incremento en un 8% la reducción del flujo de calor y redujo en más de 30°C la temperatura superficial de la cubierta.

Elaborado por:

Ing. Pablo Sobrado D.

Referencias:

H. Akbari, R. Levinson, and P. Berdahl, Lawrence Berkeley National Laboratory.

“ASTM Standards for Measuring Solar Reflectance and Infrared Emittance of Construction Materials and Comparing their Steady-State Surface Temperatures”.

coolrooftoolkit.org. 2012.

“A Practical Guide to Cool Roofs and Cool Pavements Primer”.

Zbigniew ZAPĄŁOWICZ. 2017.

“Influence of irradiance and ambient temperature on roof coating temperature and heat flux transferred to interior of building”.