

PRIMEROS ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE UN NUEVO RECUBRIMIENTO SELECTIVO PARA PLACAS ABSORBEDORAS DE COLECTORES SOLARES CALENTADORES DE AIRE^Ψ

José E. Quiñonez^{1,2} y Alejandro L. Hernández¹
Universidad Nacional de Salta (UNSA), Avda. Bolivia N° 5.150, CP. 4400, Salta Capital
Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta (CIUNSa)
Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional (INENCO, UNSA – CONICET), Av. Bolivia 5150, A4400FVY,
Salta, Argentina.
Tel. 54-0387-4255579 – Fax 54-0387-4255489
E-mail: jeq1@hotmail.com

Recibido 16/08/14, aceptado 28/09/14

RESUMEN: En este trabajo se presenta una nueva e innovadora técnica de recubrimiento selectivo para placas absorbedoras de radiación solar, es de fácil realización y su implementación no es perjudicial para la salud. Consiste en la generación de una capa superficial de óxido de color negro sobre una superficie metálica. El recubrimiento superficial fue implementado sobre seis sustratos de hierro con diferentes tiempos de inmersión en una solución alcalina. Los resultados muestran valores medidos de absorptancias entre 0,86 – 0,88 y de emitancias entre 0,20 – 0,47 a temperaturas de 100 °C. La superficie sumergida en la solución alcalina durante 20 min presenta mejores propiedades ópticas como placa absorbidora de un colector solar de aire, $\alpha = 0,88$ y $\epsilon = 0,21$ a 100 °C, obteniendo una selectividad de 4,19.

Palabras clave: superficie selectiva, medición de absorptancia y emitancia, colector solar.

INTRODUCCION

La placa absorbidora de un colector solar debe tener alta absorptancia en el espectro electromagnético solar para maximizar la colección de radiación y baja emitancia en el espectro electromagnético infrarrojo para minimizar las pérdidas de energía por radiación térmica. La mejor combinación de estas propiedades se presenta en las llamadas superficies selectivas calientes cuya absorptancia solar es aproximadamente 0,95 (95 % de la radiación incidente es absorbida por la superficie) y cuya emitancia infrarroja es de aproximadamente 0,15 (emiten menos del 15 % de la energía emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura). Estas superficies se obtienen produciendo coberturas superficiales de óxidos metálicos de alta absorptancia solar sobre sustratos de baja emitancia infrarroja (metales altamente pulidos) como por ejemplo óxido de cobre sobre aluminio (Hottel y Unger, 1959) y óxido de cobre sobre cobre (Close, 1962). Tabor (1956) desarrolló una superficie selectiva para un colector solar depositando sulfato de níquel-zinc sobre un sustrato de hierro galvanizado, obteniendo valores de absorptancia de 0,89 y emitancia de 0,16 a 373 °C.

Otra sustancia empleada en la formación de coberturas selectivas para colectores solares es el cromo negro depositado electrolíticamente sobre sustratos de acero o cobre níquelados. Muehlratzer et al. (1981), aplicaron esta técnica sobre los caños de acero empleados como absorbedores en un concentrador tipo Fresnel para una planta solar de generación de potencia de 50 kW. Obtuvieron una cobertura selectiva de óptimas propiedades termo-ópticas (absorptancia 0,97 y emitancia 0,08 a 100 °C).

Si bien la electrodeposición de óxidos metálicos conduce a la obtención de excelentes superficies selectivas calientes, su implementación resulta una tarea complicada, onerosa y sumamente peligrosa para la salud ya que el cromo es una sustancia altamente tóxica y contaminante del medio ambiente.

Las placas absorbedoras oscurecidas con pintura negra tienen emitancia de 0.94 a 300 K (Incropera y DeWitt, 1990). Además presentan la desventaja de que, al ser calentadas por la radiación solar, liberan sustancias tóxicas caracterizadas por fuertes y desagradables olores que inundan el local a calefaccionar. Son frecuentes las quejas al respecto de los usuarios de estos edificios constituyéndose esto en una barrera cultural y sanitaria para la aceptación de esta tecnología.

En este trabajo se presenta una novedosa técnica de recubrimiento superficial para superficies absorbedoras de energía solar. Su aplicación es sencilla y menos peligrosa para la salud. Además presenta la ventaja de que la placa absorbidora no genera ningún tipo de olor durante su uso y su durabilidad se ve menos afectada que en el caso de la pintura negra por su exposición a los rayos UV del sol, prolongando así la vida útil del absorbedor.

^Ψ Trabajo parcialmente financiado por el Proyecto N° 2025 de CIUNSa y PICTO ENARGAS-2009-0192 de ANPCyT y ENARGAS.

¹ Investigador del Instituto Nacional en Energías No Convencional.

² Becario de CONICET.

La técnica presentada consiste en la generación de una capa superficial de óxido de color azulado o negro, con el que se cubren las piezas metálicas para mejorar su aspecto y evitar su corrosión (Font Pérez, 1991). Es un proceso muy utilizado para la protección contra la oxidación de las armas de fuego. De acuerdo a la investigación bibliográfica realizada, no existen antecedentes de su utilización para la fabricación de placas absorbedoras de radiación solar.

EXPERIMENTAL

Métodos y técnicas empleados

Existen dos métodos de recubrimiento: el ácido y el alcalino. El primero es sin duda el que proporciona mejor calidad, durabilidad a la fricción y mejor aspecto. Pero requiere mucho tiempo para lograr el resultado deseado (48 a 72 hs.). Se obtiene mediante la aplicación secuencial de distintos ácidos y sustancias tóxicas que proporcionan una oxidación superficial de gran adherencia y durabilidad. En cambio, el método alcalino es más simple de lograr, su implementación es más sencilla y menos peligrosa para la salud, además se logra en muy poco tiempo (5 a 30 minutos), por lo que es el método utilizado habitualmente por los armeros y propietarios de armas.

Tanto para el método ácido como para el alcalino es fundamental la limpieza y desengrasado de la superficie a tratar, a fin de lograr mayor adherencia y durabilidad del óxido generado. El método alcalino fue investigado elaborando varias técnicas de recubrimientos sobre sustratos de hierro. La técnica que proporciona mejores resultados consiste en una solución de nitrato de potasio (KNO_3) y soda cáustica (NaOH) que debe calentarse hasta alcanzar $140\text{ }^\circ\text{C}$.

Preparación del sustrato y procesos

Independientemente de la técnica que sea utilizada, la base de un buen recubrimiento es la preparación previa de la superficie. El buen tratamiento previo mejora el acabado final y alarga la vida útil del recubrimiento. Por tales motivos es importante evitar la presencia de óxidos o grasas sobre la superficie antes de comenzar el proceso de pavonado.

Para el ensayo, fueron preparados seis sustratos de hierro de $5\text{ cm} \times 5\text{ cm}$, calibre 27, la placa de hierro usada es más conocida en el mercado local como chapa negra. Con la finalidad de estudiar la influencia de la capa de recubrimiento sobre la superficie, los sustratos fueron expuestos a diferentes tiempos de inmersión en el baño alcalino, 5 min, 10 min, 15 min, 20 min, 25 min y 30 min.

El primer tratamiento realizado sobre el sustrato de hierro fue la eliminación de impurezas sobre la superficie mediante la técnica de decapado, esto evita contaminantes inorgánicos y óxidos. El tratamiento requiere que el metal a limpiar reaccione químicamente con algún tipo de ácido. En la Figura 1a se puede observar un sustrato totalmente deteriorado por la oxidación.

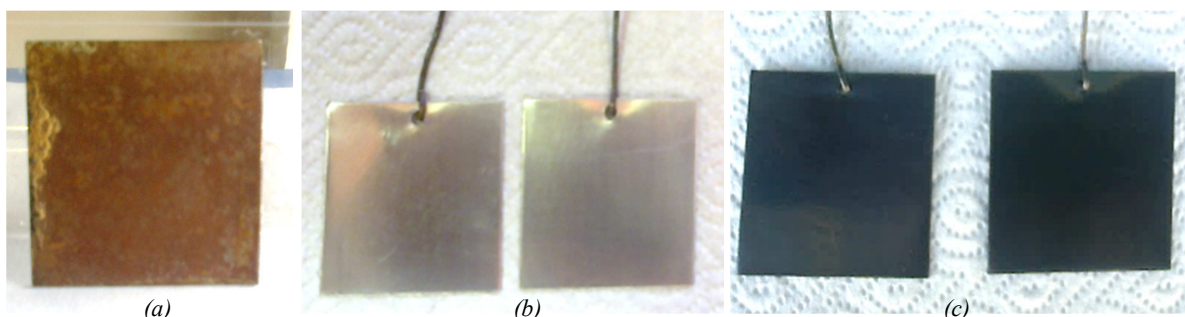


Figura 1: (a) sustrato con impurezas, (b) sustrato decapado y pulido, y (c) sustrato oscurecido.

Una vez que el sustrato se encuentra libre de impurezas se debe continuar con el proceso de pulido, ésta segunda etapa es muy importante debido a que otorga una superficie brillante que permite obtener los bajos valores de emitancia. En la Figura 1b se muestra dos sustratos después del proceso de decapado y pulido.

La tercer etapa consiste en sumergir los sustratos en el baño alcalino para que adquieran el recubrimiento selectivo, previo a la inmersión los sustratos fueron desengrasados utilizando un disolvente específico. En la Figura 1c se observa a los sustratos con el recubrimiento final. Si bien la técnica resulta ser sencilla requiere de mucha práctica y experiencia para lograr el resultado deseado.

En la Figura 2a y 2b se muestra con mayor detalle el acabado final del recubrimiento. Los sustratos que fueron presentados en la figura anterior ahora se muestran desde otra perspectiva, los mismos corresponden a recubrimientos con 5 y 15 minutos de inmersión en el baño alcalino. Es posible observar en las fotografías el oscurecimiento total de los sustratos, pero a su vez la alta reflectancia que poseen.

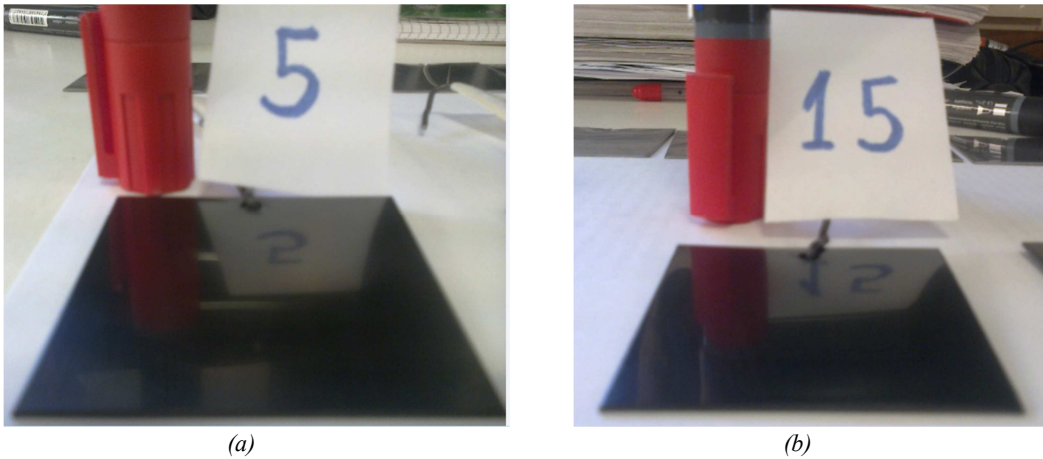


Figura 2: sustrato pavonado (a) con 5 min de inmersión en el baño, (b) con 15 min de inmersión en el baño.

TÉCNICA DE MEDICIÓN

Las propiedades ópticas para caracterizar un recubrimiento selectivo son la absorptancia solar, α , y la emitancia infrarroja, ε . La absorptancia es una propiedad que determina la fracción de la irradiación absorbida por una superficie. Mientras que la emitancia es una propiedad radiativa superficial, y es la razón de la radiación emitida por la superficie a la radiación emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura, (Incropera, 1990).

Medición de absorptancia

Para las mediciones de absorptancia solar se empleó el espectroradiómetro LI-1800. Este equipo contiene una fuente luminosa, una fibra óptica para la transmisión de datos, una interface para la conversión de las medidas y 8 bancos de memoria para guardar datos. El espectroradiómetro se conectó a la esfera integradora LI – 12 de Lincoln Corp. Este instrumento, es del tipo externo, ya que la muestra se coloca sobre una ventana lateral. El diámetro de la esfera es 500 mm y su superficie interior está recubierta con sulfato de bario, el cual se considera reflejante al 100 %. Como fuente luminosa, se utilizó una lámpara halógena de 6 V y 10 W conectada a una fuente estabilizada en tensión. Como referencia negra se utiliza una tapa plástica recubierta interiormente con negro y como referencia blanca una película de sulfato de bario depositada sobre una pastilla de plástico. La esfera se conecta por medio de una fibra óptica al espectroradiómetro.

El equipo completo (espectroradiómetro y esfera integradora), Figura 3, es controlado mediante una PC a través de la conexión RS232. El rango de medida es de 300 a 1100 nm, pero la fibra óptica transmite a partir de 390 nm, por lo que para todas las determinaciones se programó en el rango de 400 a 1100 nm. La resolución espectral es de 2 nm y el ancho de banda efectivo de 6 nm.

Los datos almacenados en la PC fueron procesados en una planilla de cálculo siguiendo los lineamientos indicados del manual LI-1800. Los datos que se obtienen del espectroradiómetro son de reflectancia espectral, entonces los valores “medidos” de absorptancia se obtienen mediante la ecuación (2).

A partir de un balance de energía radiante sobre una superficie se tiene que:

$$\alpha + \rho + \tau = 1 \quad (1)$$

donde α es la absorptancia, ρ la reflectancia y τ la transmitancia.

Debido a que el medio es opaco, no hay transmisión ($\tau = 0$), la absorptancia y reflectancia son procesos superficiales. Por lo tanto despejando α de la ec. (1) se tiene,

$$\alpha = 1 - \rho \quad (2)$$



Figura 3: equipo de medición de reflectancia.

Medición de emitancia

Los valores de emitancia infrarroja fueron obtenidos utilizando una cámara termográfica portátil marca Fluke modelo TI55FT. La cámara puede configurarse en tres rangos de temperatura, de 20-100 °C, de -20-350 °C y de 250 a 600 °C, trabaja con una precisión de +/- 2 %, emitancia 0,1-1,0 (0,01 incremento) en una banda espectral de 8-14 μm .

Los valores de temperatura ambiente y temperatura superficial de los sustratos fueron registrados mediante termocuplas tipo K (cromel-alumel). Las termocuplas fueron calibradas con un equipo calibrador de punto frío y punto caliente, Industrial 9009 Dual-Block y conectadas a un equipo adquisidor de datos ADAM 4018. El módulo ADAM 4520 transforma la señal RS-485 que entrega el ADAM 4018 en RS-232, a fin de conectarlo a una PC.

La radiación emitida por la superficie de un cuerpo, de acuerdo a la Ley de Planck, depende de la temperatura a la cual se encuentra y a la emisividad del mismo. Es decir que si se conoce una de estas variables, será posible conocer la otra. La técnica de termografía infrarroja permite medir la radiación emitida por la superficie de un cuerpo en un rango de longitudes de onda entre 8-14 μm , esta técnica no destructiva permite conocer con un buen grado de exactitud la situación térmica de la superficie en un momento dado.

En la Figura 4 se muestra el equipo completo, detallado anteriormente, para las mediciones de emitancia. El sustrato es colocado sobre un dispositivo eléctrico que permite regular su temperatura superficial, la ubicación debe ser tal que la cara a medir quede expuesta hacia el exterior. Una vez alcanzado el equilibrio térmico se usó el método directo de medición, el cual consiste en medir la temperatura superficial del sustrato en estado estacionario y la temperatura ambiente. En el mismo instante se debe tomar la fotografía con la cámara termográfica.

Las imágenes termográficas registradas fueron analizadas mediante el software Smart View provisto por el fabricante. Este software usa como dato de entrada la temperatura ambiente y permite setear los valores de emitancia. Para obtener el valor de emitancia del sustrato. El software exhibe en pantalla un valor de temperatura media del área seleccionada. Luego se ajusta el valor de emitancia hasta que coincidan los valores de la temperatura superficial medida y la manifestada por el software. Cuando ocurre ésta coincidencia, ese es el valor de emitancia de la muestra.



Figura 4: equipo de medición de emitancia.

RESULTADOS

En la Figura 5a se muestra valores de absorptancias espectrales integrados en el rango de 400-1100 nm para los sustratos sumergidos en el baño alcalino entre 10 y 30 minutos. El sustrato de 5 min fue descartado debido al recubrimiento final obtenido, ya que a simple vista se observan zonas oscurecidas con diferentes tonalidades, lo cual indica un recubrimiento no uniforme sobre la superficie.

En todos los casos los valores medidos de absorptancia son igual o superiores a 0,86. Obteniendo para la muestra de 10 min de inmersión en el baño un valor de 0,86, para la de 15 min 0,87, para la de 20 min 0,88, para la de 25min 0,88 y para la de 30

min 0,88. Los resultados muestran que con esta técnica de recubrimiento se obtienen altos valores de absorptancia, indicando su condición de buen absorbedor de energía solar. El tiempo de inmersión en el baño alcalino no tiene efecto después de los 20 minutos, ya que los valores de absorptancias permanecen constantes en 0,88.

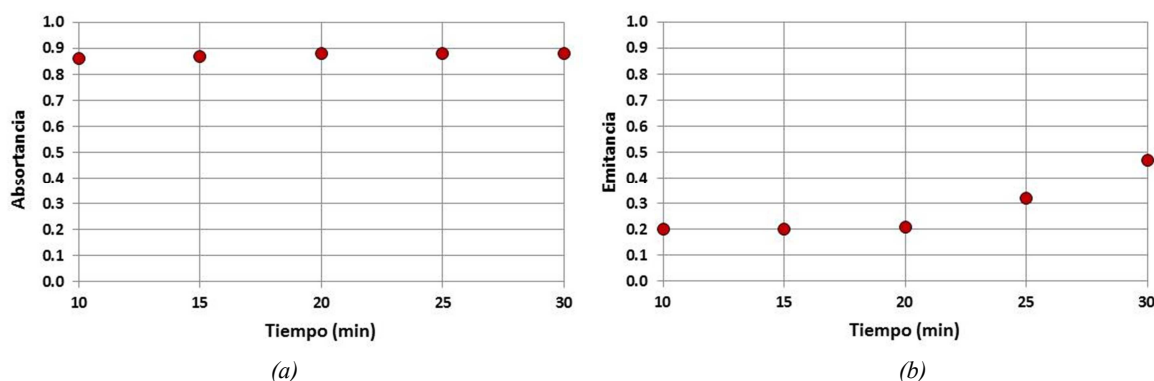


Figura 5: (a) valores de absorptancias y (b) valores de emisancias normal, en función del tiempo de inmersión en el baño alcalino.

En la Figura 5b se muestra valores medidos de emisancia normal, a una temperatura de 100 °C. Los resultados obtenidos muestran que para el sustrato de 10 min de inmersión en el baño alcalino la emisancia es de 0,20, para el de 15 min de 0,20, para el de 20 min de 0,21, para el de 25 min de 0,32 y para el de 30 min es 0,47. El tiempo de inmersión en el baño no afecta fuertemente a los valores de emisancia hasta los 20 minutos, mientras que después de este tiempo su valor se incrementa en un 52 % para 25 min y en más del 100 % para los 30 min.

Selectividad

Otra forma de caracterizar el tipo de recubrimiento realizado sobre superficies, es la selectividad. La selectividad se calcula mediante la razón entre la absorptancia y la emisancia, y es un indicativo de cuan térmicamente eficiente puede ser la superficie. Mientras más grande sea el valor de selectividad más eficiente será la superficie. En la Tabla 1 se observan los valores de selectividades para los diferentes tiempos de inmersión de los sustratos. Los mejores valores de selectividades los presentan los sustratos de 10, 15 y 20 min, debido a sus bajos valores de emisancias.

t (min)	Selectividad
10	4.30
15	4.35
20	4.19
25	2.75
30	1.87

Tabla 1: selectividad de los sustratos.

Evaluación termo-energética de un colector solar calentador de aire con placa absorbadora selectiva

Con la finalidad de evaluar la performance termo-energética de un colector solar calentador de aire con placa absorbadora selectiva. Los valores obtenidos de absorptancia y emisancia de cada sustrato (superficie selectiva) fueron introducidos como datos característicos de la placa absorbadora al conjunto de ecuaciones que permiten simular el comportamiento térmico del colector solar calentador de aire de doble paso en contra corriente (Hernández et al., 2013).

Mediante algoritmos computacionales, las expresiones matemáticas que conforman el modelo fueron introducidas en el software de propósito específico denominado CLOE[®] V2.0 (Cambio en la Longitud de Onda Electromagnética) que es un programa de código cerrado desarrollado por los autores de este trabajo en Visual Basic V.4.0 y que permite diseñar y predecir el comportamiento termo-energético de cuatro tipos de colectores solares calentadores de aire para cualquier ubicación geográfica y bajo diferentes condiciones climáticas y de funcionamiento.

Para la simulación se consideró la latitud -24.7° orientando el colector hacia el ecuador con una inclinación de 35°. La configuración usada es la de un colector solar de aire de doble paso en contra corriente con una área de colección de 1,94 m², con doble cubierta de policarbonato alveolar de 6 mm de espesor. El día elegido para la simulación es el 17 de julio (mes más frío) y el caudal se varió entre 0,02 y 0,06 m³ s⁻¹.

En la Figura 6 se grafican los resultados obtenidos de eficiencias diarias en función del caudal circulante y de las diferentes superficies selectivas (referenciadas con el tiempo de inmersión en el baño alcalino). Se observa que la eficiencia diaria aumenta al aumentar el caudal de aire circulante y el tiempo de inmersión en el baño alcalino. Para todos los casos las eficiencias se incrementan hasta alcanzar los 0,05 m³ s⁻¹, luego permanecen constantes para caudales superiores. Estos resultados muestran que un colector solar con placa absorbadora selectiva y caracterizada por las propiedades ópticas de 15 y 20 min de inmersión en la baño tienen mayor eficiencia para caudales entre 0,01 y 0,03 m³ s⁻¹, logrando incrementar la

eficiencia desde 39 % a 52 %. Para caudales entre 0,03 y 0,06 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ la placa selectiva de 20 min es la que tiene mayor eficiencia, alcanzando un valor máximo de 57 %.

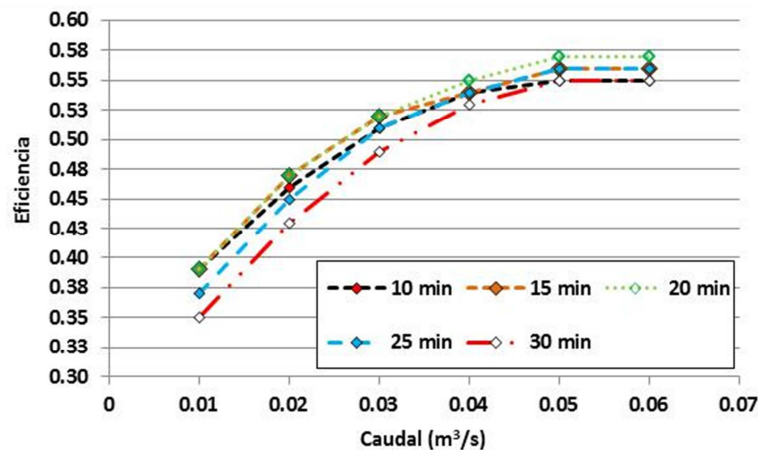


Figura 6: eficiencia diaria del colector para las diferentes propiedades ópticas de placa absorbidora en función del caudal.

Las propiedades ópticas de todos los sustratos muestran que para caudales mayores a 0,05 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ la eficiencia alcanza un límite máximo y por consiguiente la energía útil extraída del colector tiene un límite. Este dato es de gran importancia a la hora de diseñar y construir un colector solar, ya que permite dimensionar el área óptima de colección.

En la Figura 7 se grafican los valores de energía útil diaria en función de los caudales y de las superficies selectivas (tiempo de inmersión el baño), el modelo físico-matemático estima que un colector producirá mayor energía útil durante un día de funcionamiento usando la placa absorbidora selectiva de 15 y 20 min. Las mejores condiciones de funcionamiento se obtiene para flujos de 0,05 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ donde el incremento de energía útil es del 62 % respecto al caudal de 0,01 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$.

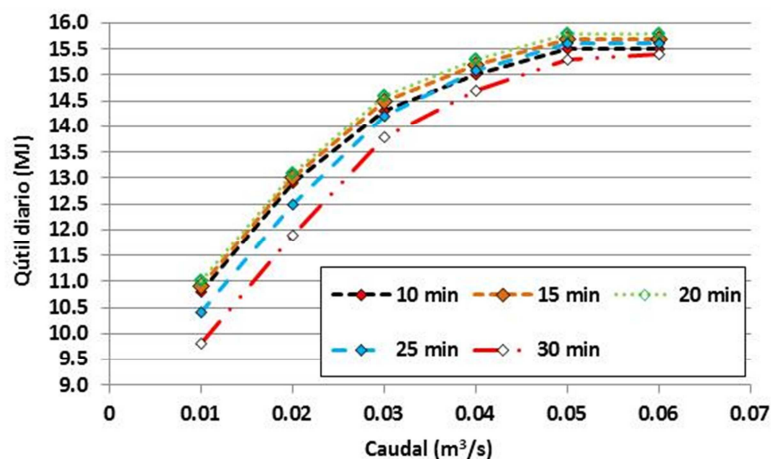


Figura 7: Calor útil diario del colector.

Suponiendo las mismas condiciones de funcionamiento y diseño constructivo mencionados anteriormente, en la Figura 8a y 8b se comparan las eficiencias y energía útil en función de los caudales, respectivamente. La comparación se realiza modificando las propiedades ópticas de la placa absorbidora, considerando la superficie selectiva de 20 min., pintura negra, $\alpha = 0,94$ y $\epsilon = 0,94$ a 300 K, (Incropera y DeWitt, 1990) y la superficie selectiva obtenida por Tabor (1956) donde $\alpha = 0,89$ y $\epsilon = 0,16$ a 373 °C.

La simulación muestra que la superficie selectiva lograda por Tabor es la que proporciona mejores eficiencias y energía útil durante un día de funcionamiento del colector solar, debido al bajo valor de emitancia que posee. Al comparar la superficie selectiva de 20 min con la pintura negra, se tiene que la eficiencia mejora en un 14,7 % para un caudal de 0,01 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$, en un 11,9 % para 0,02 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$, en un 4 % para 0,03 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$, en un 1,9 % para 0,04 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$. De acuerdo a la simulación a partir de los 0,05 $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ es indistinto usar la superficie selectiva de 20 min o pintura negra sobre la placa absorbidora, ya que la eficiencia del colector se mantiene constante en un 57 %.

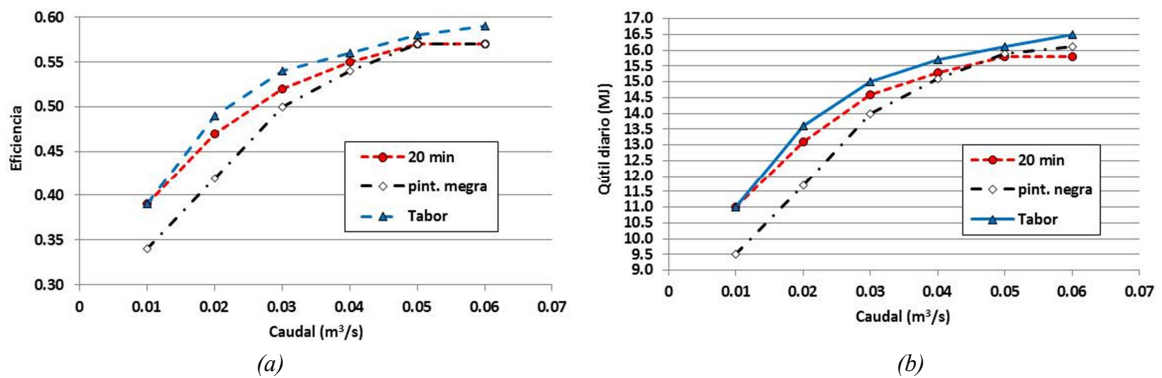


Figura 8: (a) eficiencias diarias en función del caudal (b) calor útil en función del caudal.

CONCLUSIONES

Se determinó, a partir de los estudios previos y ensayos realizados, que la técnica de recubrimiento alcalino sobre sustrato de hierro es la que proporciona la característica de superficie selectiva. Característica muy importante para la placa absorbadora de un colector solar debido a que tiene alta absorptancia en el espectro electromagnético solar para maximizar la colección de radiación y baja emitancia en el espectro electromagnético infrarrojo para minimizar las pérdidas térmicas de energía por radiación. Este tipo de recubrimiento es sencillo y no es perjudicial para la salud.

Con este nuevo recubrimiento se obtienen superficies selectivas con valores de absorptancia entre 0,86-0,88 y emitancias entre 0,25-0,47 a temperaturas de 100 °C. Los valores medidos de absorptancias no se ven fuertemente afectados por el tiempo en el baño alcalino, y a partir de los 20 min de inmersión los valores se mantienen constantes en 0,88. Mientras que los valores de emitancia permanecen prácticamente invariantes hasta los 20 min, luego su incremento es de 52 % para 25 min y mayor al 100 % para 30min.

La selectividad de la superficie selectiva obtenida varía entre 1,87 y 4,3. Las superficies de 10, 15 y 20 min, superan al valor obtenido por N. Di Lalla (2005) para su superficie selectiva elaborada con cromo negro (3,2).

Con la finalidad de evaluar la performance térmica de un colector solar calentador de aire con placa absorbadora selectiva, se introdujeron las propiedades ópticas medidas de cada sustrato a un modelo físico-matemático. Los resultados reflejan un aumento en la eficiencia con el incremento del caudal para todos los casos, obteniendo mayor eficiencia en el colector de doble paso en contra corriente para las propiedades ópticas de la superficie selectiva de 20 minutos ($\alpha = 0,88$ y $\epsilon = 0,21$ a 100 °C).

También se realizó una comparación de la performance térmica de un colector solar de aire con caudales entre 0,01 y 0,06 m³ s⁻¹ simulando la placa absorbadora con los valores ópticos medidos de la superficie selectiva de 20 minutos, la superficie selectiva de Tabor y la pintura negra. Los resultados muestran que un colector solar con placa absorbadora selectiva de Tabor presenta mayor eficiencia, debido a que posee 2 % más de absorptancia solar y 31 % menos de emitancia que la superficie de 20 min. Mientras que al compararla con la pintura negra se tiene que el valor de absorptancia solar es 7 % menor, pero se logra reducir en un 77,5 % el valor de emitancia. A partir de las simulaciones realizadas se obtiene que el colector solar de aire es más eficiente con la placa absorbadora de 20 min para caudales entre 0,01 y 0,05 m³ s⁻¹, y para caudales iguales o mayores a 0.05m³/s es indistinto usar pintura negra o la superficie selectiva de 20 minutos.

Los resultados obtenidos alientan a continuar investigando esta técnica de recubrimiento para producir superficies selectivas para la fabricación de placas absorbadoras de colectores solares calentadores de aire y agua. La técnica puede ser mejorada desde el punto de vista termo-óptico, mejorando la técnica del pulido, investigando con otras proporciones de los componentes de la solución y con otros metales que tengan diferentes porcentajes de hierro, etc.

Las placas absorbadoras oscurecidas con pintura negra presentan la desventaja de que, al ser calentadas por la radiación solar, liberan desagradables olores que inundan el recinto o local a calefaccionar. El nuevo recubrimiento presentado no genera ningún tipo de olor durante su uso y su durabilidad se ve menos afectada que en el caso de la pintura negra por su exposición a los rayos UV del sol, prolongando así la vida útil como superficie selectiva. Otra ventaja interesante de la técnica es su potencial de uso, ya que existen muchas aplicaciones solares que usan superficies metálicas como absorbadores de energía, como por ejemplo, hornos solares, el absorbador de un concentrador tipo Fresnel, etc.

REFERENCIAS

- Close, D. J., 1962. "Flat-Plate Solar Absorbers: The Production and Testing of a Selective Surface for Copper Absorber Plates". Report E.D.7, Engineering Section, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Melbourne, Australia.
- Di Lalla, N. y Frigerio, E.. Ensayos de degradación térmica de superficies de cromo negro, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 9, pág 59-64, 2005. Argentina. ISSN 0329-5184.

- Font Pérez, R. J., 1991. "Pavonado: Evaluación del Proceso y Resistencia a la Corrosión". Tesis de grado previa a la obtención del título de Ingeniero Mecánico. Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.
- Hernández A.; Quiñonez J., 2013. Analytical models of thermal performance of solar air heaters of double-parallel flow and double-pass counter flow. *Renewable Energy*, Vol 55, pág. 380-391.
- Hottel, H. C. y Unger, T. A., 1959. "The Properties of a Copper Oxide – Aluminum Selective Black Surface Absorber of Solar Energy. *Solar Energy* 3 (3), 10.
- Muehlratzer, A.; Goerler, G. P.; Erben, E. y Zeilinger, H., 1981. "Selection of a Black Chrome Bath for Continuous Tube-Plating and the Properties of the Coatings Deposited From It". *Solar Energy* 27 (2), pp 115 – 120.
- Tabor, H., *Bull. Res. Council Israel*, 5A (2), 119 (Jan. 1956). "Selective Radiation."
- Incropera, F. Y DeWitt, D., 1990. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 3rd edition. John Wiley & Sons, New York.

ABSTRACT

This paper presents a new and innovative technique for selective coating absorber plates of solar radiation; it is easy to make and this application is not harmful for health. It consists in generating a black top layer of oxide a metal surface. The surface coating was implemented on six iron substrates with different immersion times in an alkaline solution. The results show measured values of absorptances between 0.86 - 0.88 and of emittances between 0.20 - 0.47 at temperatures of 100 °C. The submerged surface in the alkaline solution for 20 min presents better optical properties as an absorber plate of an air solar collector, $\alpha = 0.88$ and $\epsilon = 0.21$ at 100 °C, giving a selectivity of 4.19.

Keywords: selective surface, absorptance and emittance measurement, solar collector.