

REPARACIÓN DEL RECUBRIMIENTO DEL SENSOR DE PIRANOMETROS TIPO BLACK AND WHITE

A. Domenech, A. Roldán.

GERSolar, INEDES, Universidad Nacional de Luján, Av. Constitución y Ruta 5, (6700) Luján,
Buenos Aires, Argentina – Tel. (54-02323)440241– e-mail: gersolar@yahoo.com.ar

RESUMEN: Se reseña un procedimiento de reparación de piranómetros de la firma Eppley modelo 8-48 Black & White, desarrollado por GERSolar. La reparación requirió repintar las superficies expuestas a la radiación solar usando un recubrimiento blanco que se confeccionó con un granulado fino de sulfato de bario, mientras que para el negro se utilizó como pigmento negro de humo de una firma comercial. Se describe el proceso de pintado, las pruebas de adherencia realizadas y el ciclado térmico al que fueron sometidos los equipos reparados. Los resultados de la calibración de los equipos luego de ocho meses de funcionamiento revelan un comportamiento muy aceptable para ambos. Uno de ellos presenta una deriva acotada en el valor de su constante de calibración que es menor al 5%, valor considerado razonable para este tipo de instrumental.

Palabras clave: piranómetros, Black & White, reparación.

INTRODUCCIÓN

Los piranómetros Eppley modelo 8-48 Black & White están ampliamente difundidos en todo el mundo (Grossi Gallegos, 2004). En particular en Argentina la Red Solarimétrica que funcionó a partir del año 1978 instaló a partir de 1981 estos equipos en algunas de sus estaciones.

Estos sensores están contruidos en base a una termopila de Möll dispuesta debajo de superficies que alternan colores negro y blanco, formando un dibujo en forma de estrella. El objetivo de las zonas pintadas es servir de superficie de contacto a las juntas frías y calientes de la termopila, obteniendo un voltaje proporcional a la diferencia de temperatura entre ellas, la que a su vez es lineal con la intensidad de la radiación solar global incidente sobre el instrumento (Figura 1). La configuración descrita se logra recubriendo un disco de material plástico (un polímero de alta prestación), en una de sus caras con pintura negra y blanca, alternadamente, y en la otra, adhiriendo las juntas de la termopila al disco. En el presente trabajo el término “pintura” hará referencia al recubrimiento de la superficie sensible del piranómetro, aunque no lo sea en sentido estricto.



Figura 1: Piranómetro Black and White de la firma Eppley

Muchos de estos instrumentos, debido a situaciones diversas relacionadas con su uso y transporte, se han degradado hasta ser inutilizables. La avería más común consiste en el desprendimiento de la pintura blanca, lo que los vuelve inútiles. La exposición del piranómetro a la luz solar y los ciclos térmicos a que es sometido por esa causa el instrumento, deteriora, luego de varios años, el recubrimiento mencionado, degradando de ese modo la prestación del sensor. Esto se ve reflejado en la disminución (para las mismas condiciones de radiación solar) del voltaje de salida que en el mejor de los casos, hace necesario establecer una nueva constante de calibración que permita seguir utilizándolos y en el peor los inutiliza.

En la actualidad un número importante de piranómetros de este tipo que se encuentran en el país están inutilizados y podrían ser recuperados para sumarse a una nueva red solarimétrica que permita evaluar el recurso solar de manera sostenida, dando cuenta de su variabilidad espacial y temporal. En ese sentido, el grupo de estudios de la radiación solar (GERSolar) en asociación con el INTA y la Universidad del Centro han instalado una nueva red de medición que actualmente cubre ocho estaciones en la Pampa Húmeda, y que a futuro prevé una expansión hacia la zona centro oeste del país (Righini et. al, 2010)

Recuperar el equipo para que vuelva a funcionar en condiciones aceptables implica no solamente recubrir nuevamente las zonas blancas y negras sino, además, garantizar la estabilidad de dicha cobertura, pues la variabilidad temporal de la constante de calibración es función de la misma. Un piranómetro cuya constante de calibración fluctuara apreciablemente en el tiempo no sería de utilidad como elemento de evaluación continua de los niveles de radiación solar.

El presente trabajo muestra los progresos realizados en el reemplazo de la pintura original con vistas a recuperar los equipos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó con dos piranómetros tipo Black & White modelo 8-48 de la empresa Eppley Laboratory. Los modelos reparados tienen más de 30 años de fabricados.

El objetivo del trabajo fue reparar los recubrimientos negro y blanco que estos radiómetros presentan en su superficie a fin de recuperar las prestaciones normales del sensor. Ambos sensores fueron elegidos debido a que, salvo por los defectos que presentaba la pintura, el resto de sus componentes no mostraba deterioro evidente.

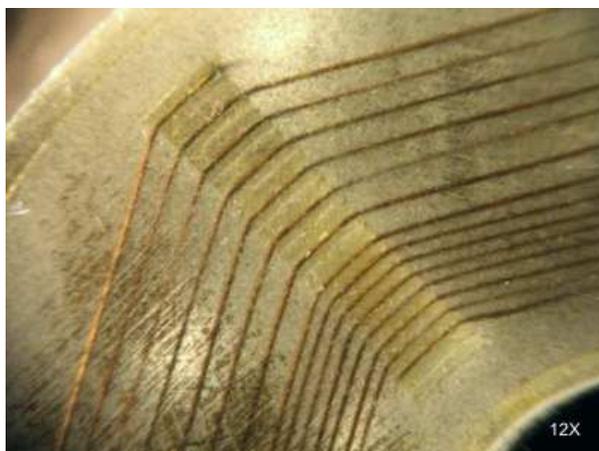


Figura 2: Fotografía de la superficie sin recubrimiento de uno de los piranómetros degradados a los que se repintó. En ella pueden observarse las termocuplas

Composición de la pintura blanca

La pintura blanca usada está formada por una mezcla de sulfato de bario ($BaSO_4$) y un polímero del tipo acrílico-uretano catalizado. El sulfato de bario (que reemplazó al óxido de titanio que originalmente se usaba) es empleado porque, además de la estabilidad que presenta su coloración en el tiempo, presenta baja absorción en el rango infrarrojo del espectro electromagnético, lo que le confiere mayor durabilidad a causa de su menor degradación.

Los ensayos preliminares revelaron que el tamaño promedio de los cristales de $BaSO_4$ era excesivo, lo que provocaba una precipitación no deseada de los componentes sólidos de la pintura y un aspecto final de la superficie que se caracterizaba por un color blanquecino, parcialmente translúcido. Debido a esto, se prepararon cristales de pintura de tamaño estimado inferior al micrón, compuestos de sulfato de bario, obtenido mediante la precipitación de cloruro de bario ($BaCl_2$), conseguida con el agregado de sulfato de sodio (Na_2SO_4) en condiciones apropiadas.

Una vez lavado y secado, el sulfato de bario muestra un color blanco comparable al original presente en los piranómetros y excelentes prestaciones de cubrimiento. Como agente cohesionante de la pintura se utilizó una laca destinada al repintado automotor, denominada: Glasurit Barniz PU 0090 8:1 de la firma Basf S.A. En lugar del diluyente original se usó *thinner* marca Hidra para repintado automotriz de alta calidad, a fin de acelerar la evaporación y evitar una excesiva decantación de los cristales de sulfato de bario.

La proporción de la mezcla es: 10% del diluyente original Glasurit y 90% de thinner. Si se utiliza exclusivamente el diluyente original aumenta el tiempo de evaporación, permitiendo la decantación del pigmento formado por el sulfato de bario y, por ende, la formación de una capa transparente superficial de barniz no deseados. En la siguiente tabla se muestran la composición en peso y volumen empleada para obtener la pintura blanca.

Componente	Cantidad
BaSO ₄	2,7 g
Aerosil-200 (Evonik industries)	0,03 g
Barniz Glasurit PU 0090-8:1	1,6 ml
Catalizador Glasurit 0095	0,2 ml
Mezcla diluyente	20 ml

Tabla 1: Composición de la pintura blanca

Preparación de la pintura blanca

Para obtener un volumen de aproximadamente 23 ml de pintura es necesario mezclar en un tubo de ensayo común 1,6 ml de Barniz Glasurit 0090 con 0,2 ml de Catalizador Glasurit 0095 y 2 ml de la mezcla diluyente. Se agita vigorosamente durante 15 segundos, preferentemente con ayuda de un agitador tipo “Vortex”. En un mortero pequeño de vidrio se colocan aparte 2,7 g. de BaSO₄ y se añaden 2 ml de la mezcla diluyente. Se mezclan estos elementos con el pilón de vidrio (eventualmente pueden utilizarse elementos de porcelana) durante 3 ó 4 minutos con el fin de desagregar pequeños grumos que pudieran existir. A esta mezcla se agrega el total de la mezcla de barniz, catalizador y diluyente presente en el tubo de ensayo y se homogenizan los componentes con la ayuda del pilón hasta obtener un líquido blanco sin grumos.

Con la ayuda de una espátula se arrastró la mezcla a un pequeño tamiz 400 mesh (400 hilos por pulgada) preferiblemente de acero inoxidable. En nuestro caso se confeccionó un tamiz a partir de un cilindro plástico (polietileno) de 15 mm de diámetro y 40 mm de largo y un trozo de malla de acero inoxidable 400 mesh utilizada usualmente en la industrialización de tamices y sujeta al cilindro. Esta construcción presenta la ventaja de ser descartable y de bajísimo costo. Debido a que la malla es un tanto frágil hay que tener la precaución de no dañarla mientras se realiza el filtrado. Puede ayudarse el proceso de filtrado mediante el uso de un pincel de cerdas finas.

La mezcla, tamizada, se guardó dentro de un recipiente con tapa hermética, lo cual permite conservarla para su uso durante aproximadamente 4 horas que es el tiempo “de banco” que especifica el fabricante del barniz Glasurit ya catalizado.

Composición de la pintura negra

La pintura negra fue obtenida empleando como pigmento negro de humo de alta performance (Raven 2000 powder, de Columbian Chemicals Company). Excepto por este componente el resto de la formulación y el método empleado en la preparación fueron en un todo idénticos a los aplicados a la formulación de la pintura blanca.

Componente	Cantidad
Raven 2000 Powder (Full Black SRL)	0,7 g
Aerosil-200 (Evonik industries)	0,03 g
Barniz Glasurit PU 0090-8:1	1,6 ml
Catalizador Glasurit 0095	0,2 ml
Mezcla diluyente	20 ml

Tabla N°2: Composición de la pintura negra.

Preparación de la superficie a reparar

La membrana, en donde se hallan en su cara inferior la termopila y en la superior los recubrimientos blanco y negro, es delgada y frágil. Está adherida al resto del cuerpo del sensor mediante resinas que, debido al tiempo de exposición solar y otros factores como la fatiga térmica, se han tornado quebradizas. Por ese motivo es necesario manipularla cuidadosamente al realizar las acciones de limpieza. En lo posible, tal como se hizo en el presente trabajo, es aconsejable restaurarla sin extraerla del resto del equipo. Para ello se retira únicamente la cúpula protectora de cristal, enmascarando con cinta de papel microcorrugada 3M a fin de exponer solo la zona de trabajo. Los discos del sensor en los equipos reparados presentaban zonas expuestas en las cuales el recubrimiento original se desprendió, y zonas donde aún se encontraba adherido débilmente. Se trabajó con una lupa binocular. En primer lugar se marcaron las posiciones de los sectores blancos y negros, debido a que luego de retirar los pigmentos no quedan referencias visuales que los identifiquen. Posteriormente se retiraron los recubrimientos originales (pintura blanca y negra) mediante el uso de un elemento mecánico. Para ello se utilizó una pequeña hoja de bisturí y la ayuda de un pincel de cerdas finas para retirar los detritos. Para mejorar la adherencia se trató la superficie de la membrana con un trozo de lija (de 3mm x 5mm aproximadamente) montado, con un ángulo de unos 30 grados, en el extremo de una varilla de madera o plástico mediante una gota de adhesivo de cianoacrilato. Se comenzó utilizando lija grano 180 hasta homogeneizar la superficie mediante no menos de 5 pasadas en distintos sentidos. Posteriormente se usó lija grano 240 montada de manera idéntica a la anterior siguiendo al mismo procedimiento. El uso de estas lijas relativamente

gruesas aseguró una superficie texturada y sin brillos. Luego se retiraron los excedentes del lijado utilizando un pincel fino y aire comprimido. En la figura 3 se observan las superficies tratadas.

Posteriormente se lavó la superficie sosteniendo el equipo girado 90 grados respecto de su posición horizontal. Se rociaron 30 ml de thinner de manera axial a la superficie mediante el uso de un aerógrafo, que funcionaba con una presión de servicio en el aerógrafo de 2 kilos/cm². De esta manera se produce un lavado eficiente y la superficie queda lista, una vez seca, para el primer recubrimiento.

Proceso de pintado

Luego de la preparación de la superficie, se procedió a pintar la membrana con “Promotor de adhesión para plásticos” MMB de la firma Colorín siguiendo el esquema recomendado por el fabricante.

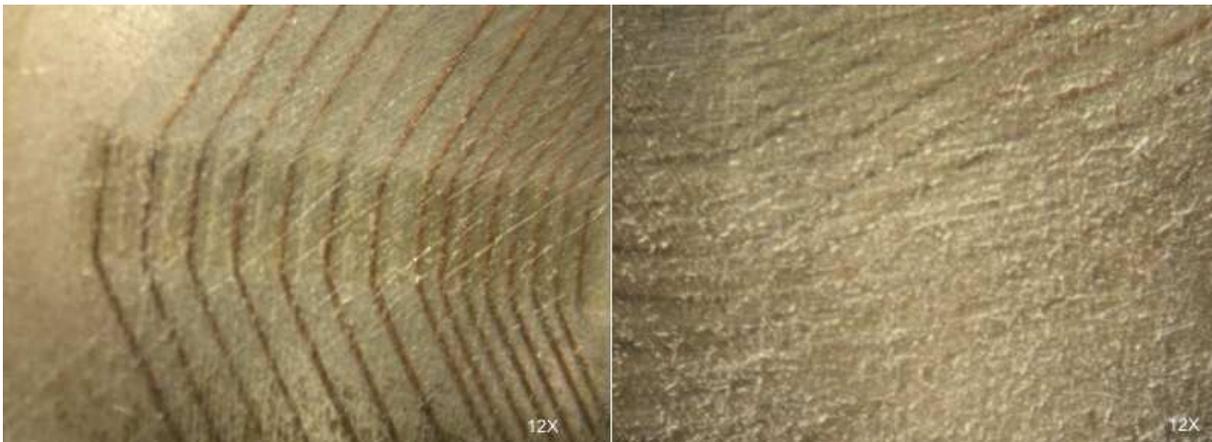


Figura 3: Izquierda, inicio del lijado. Derecha, la misma superficie lista para recibir el promotor de adherencia

Aplicación del recubrimiento blanco

Una vez seco el promotor de adhesión, se procedió a enmascarar el disco del sensor con unas piezas de laminado (film) vinílico de uso gráfico previamente cortadas mediante un plotter de corte a partir de un dibujo realizado en un programa de CAD. El posicionamiento de las piezas del enmascarado se logró ciñéndose a las marcas realizadas en un principio sobre el cuerpo del sensor. Una vez fijadas las máscaras se aplicaron mediante un aerógrafo convencional 38 capas de la formulación blanca (figura 4), dejando orear unos minutos entre capa y capa y verificando la homogeneidad de cada aplicación (presencia de grumos o imperfecciones). La aplicación de las capas insumió aproximadamente 4 horas. Una vez aplicadas todas las capas se retiró el enmascarado de vinilo inmediatamente después de aplicada la última, esto permite una delineación precisa de los bordes del área recién pintada y en términos generales responde a las reglas del arte de cualquier pintado convencional.

Aplicación del recubrimiento negro

Luego de corregir, eventualmente, cualquier imperfección en el recubrimiento blanco, se enmascararon las zonas blancas con cinta microcorrugada dejando expuestas las zonas que se pintarán de negro. Se aplicaron 18 capas de formulación negra, cantidad necesaria para homogeneizar el recubrimiento con el mínimo espesor posible (figura 4). Como en el paso anterior, se retiró el enmascarado una vez aplicada la última capa. Como puede apreciarse en la figura 5, el recubrimiento blanco no se vio afectado por estas manipulaciones.



Figura 4: Izquierda, pintado con recubrimiento blanco. Derecha, pintado con el recubrimiento negro

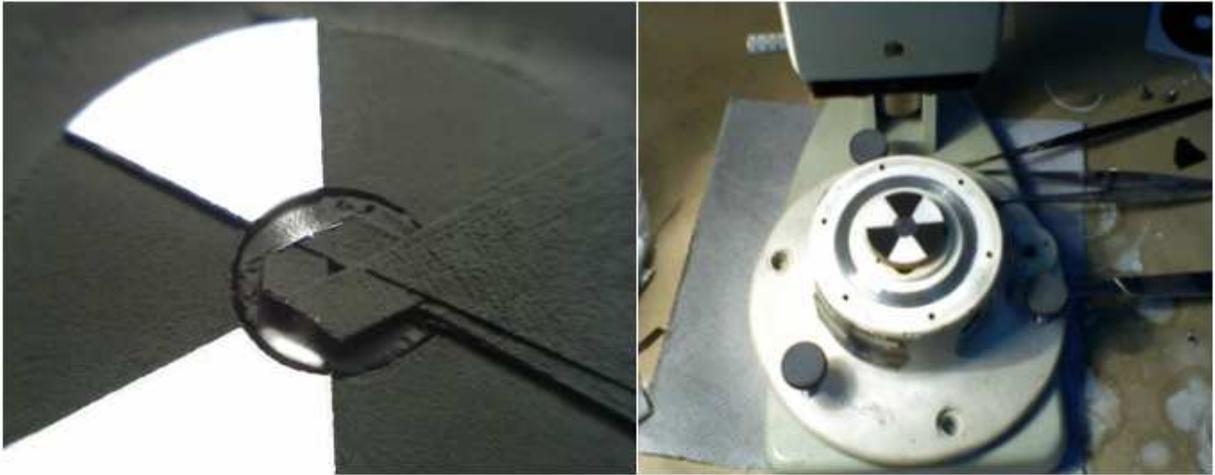


Figura 5: Izquierda, retiro parcial del enmascarado. Derecha, proceso de pintado concluido

Adherencia de la pintura

La adherencia de la pintura fue analizada de forma aproximada al no contarse con un dinamómetro. Sobre copias de las membranas del equipo construidas a este fin y en un todo similares, se aplicó la pintura a ensayar (figura 6). A la probeta se pegó un soporte de sección conocida al cual se le agregaba peso hasta el desprendimiento del recubrimiento. La medición del peso se realizó usando un método volumétrico. El mecanismo fue repetido 16 veces, tomándose el valor medio como primera aproximación de la adherencia de la pintura sobre la superficie del disco.

El proceso de análisis de adherencia se repitió usando el mecanismo descrito luego de que se realizara sobre la muestra un ciclado térmico. El ciclado se realizó calentando la superficie con aire caliente hasta 60 °C y dejándola enfriar a 20 °C, repitiéndose 365 veces en ciclos de 45 minutos, intentando simular de esta manera un año de estrés térmico.

No se detectaron diferencias significativas entre el ensayo inicial previo al ciclado térmico y luego de este. La adherencia media antes del ciclado térmico fue de 4,68 kg/cm² y la adherencia media posterior al ciclado térmico fue 4,53 kg/cm².



Figura 6: Probetas para el ensayo de adherencia

Calibración de los equipos

Una vez repintados y acondicionados los equipos, se los colocó en el exterior con el objetivo de calibrarlos. Para ello se compararon sus integrales diarias, horarias y cada 10 minutos con las provenientes de un piranómetro patrón secundario CMP11. Las señales de ambos equipos reparados y del patrón fueron procesadas para obtener las integrales. Se empleó en la adquisición de datos un equipo Campbell CR10X. El adquirente midió una vez por segundo y almacenó las integrales cada diez minutos. Su resolución es de 3 μV, de manera que resulta despreciable el error introducido por el mismo. Se procesaron un total de 221 días para cada equipo, entre Octubre de 2010 y Mayo de 2011. Las constantes fueron obtenidas mediante el método de cuadrados mínimos y el error se estimó sumando el error de apreciación del piranómetro patrón al error de la pendiente. La figura 7 muestra el desempeño de ambos, integrando los valores de radiación en base diaria, horaria y cada diez minutos.

Las constantes de calibración fueron analizadas, también, mensualmente. La figura 8 muestra los valores obtenidos mes a mes para ambos equipos. Puede verse que, mientras que en el equipo N° 20729 la constante permanece estable, presentando pequeñas oscilaciones alrededor del valor obtenido considerando todos los meses juntos, en el equipo N° 23670 la constante presenta una tendencia a ir ascendiendo en su valor. La causa de tal comportamiento aún no está identificada. En ambos casos, hasta ahora, los dos equipos tienen prestaciones comparables a las que presentaban cuando eran nuevos. Se requerirá un monitoreo sostenido en el tiempo para ver la evolución de ambos.

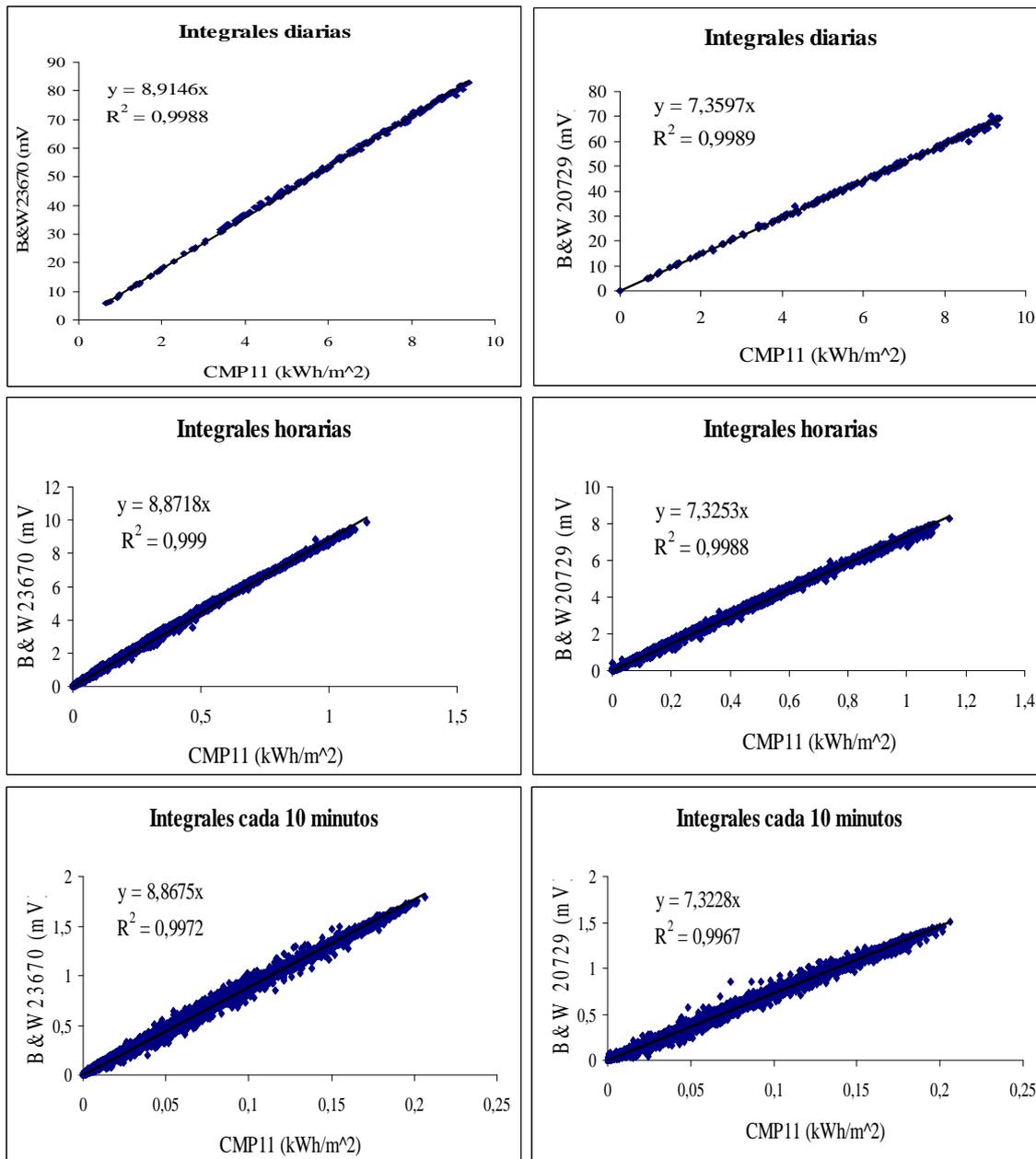


Figura 7: Calibración mediante la comparación de las integrales diarias, horarias y cada 10 minutos con un patrón secundario Kipp&Zonnen CMP11

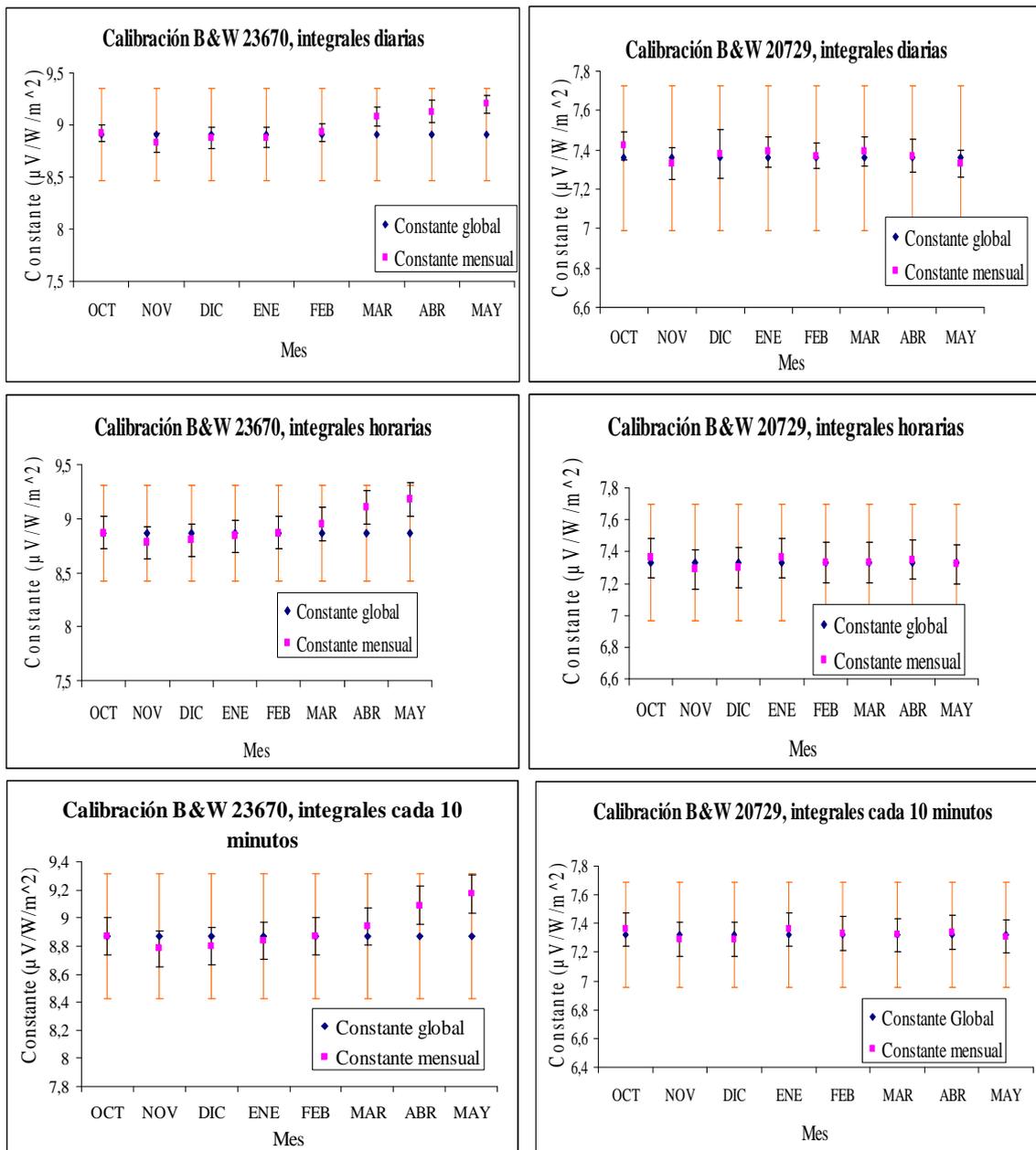


Figura 8: Constantes de calibración por mes con el error asociado (barras color negro), constante de calibración global, error arbitrario de 5 % asociado a la constante global (barras color naranja)

CONCLUSIONES

El proceso de recuperación de las superficies deterioradas de piranómetros Eppley Black and White es factible de ser realizado a escala de un laboratorio pequeño. Las constantes de calibración de ambos equipos muestran una buena correlación entre sus valores obtenidos por integración cada diez minutos, cada hora y diarios. Si bien ambos equipos brindan constantes que se encuentran dentro del límite de oscilación razonable, uno de los sensores presenta tendencia a que los valores de su constante de calibración aumenten. No está claro el mecanismo por el cual puede ocurrir tal cosa, por lo que ese resultado debe seguir evaluándose en el tiempo. El otro equipo presenta una constante que permanece estable en el tiempo. En términos generales el conocimiento adquirido en el proceso de restauración de los equipos permite mirar con optimismo el futuro inmediato de expansión de la red de medición de radiación solar que operan el GERSolar e INTA, posibilitando realizarla con equipos recuperados que presenten unas prestaciones de calidad similares a equipamiento nuevo.

REFERENCIAS

Righini R., Roldán A, Grossi Gallegos H., Aristegui R., Raichijk C. (2010). Nueva red de estaciones de medición de la radiación solar. En Comunicaciones del XXXIII Congreso de ASADES, pp. 11.01-11.05, versión CD-ROM

Grossi Gallegos H.(2004). Notas sobre radiación solar, pp. 81. Universidad Nacional de Luján.

ABSTRACT: It reviews the repairing procedure developed by GERSolar of two Eppley 8-48 Black & White pyranometers. Their surfaces exposed to solar radiation required repainted with a fine grain barium sulfate white coating, while a commercial carbon black was for the black dye. It shows the painting process, adhesion tests and the thermal cycling which they were subjected. The results of the equipment calibration after eight months of operation show a very acceptable behavior for both. One of them has a bounded drift in the value of calibration constant that is less than 5 %, which is considered reasonable for this type of instrument.

Keywords: piranometer, Black&White, painting.