



Sistema para medición de la función de reflectancia bidireccional

Gonzalo A Martinez y Jorge R. Torga

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Delta
San Martín 1171, Campana, Bs. As.
e-mail: martinezrusty@hotmail.com

Palabras claves: Reflectividad - Función de reflectancia bidireccional -
Superficies metálicas

Resumen

Se presenta un sistema automatizado para la medición de radiación reflejada en superficies metálicas, desarrollado con el objetivo de obtener la función distribución de reflectancia bidireccional (BRDF).

Todo el sistema de movimiento y detección fue automatizado para poder hacer barridos controlados y estadísticas de medición. Se diseñó y construyó un sistema de detección y procesamiento de datos que permite mediciones en un amplio rango del espectro de radiación (visible e infrarrojo cercano).

Se presentan resultados obtenidos en distintas superficies y se hace un análisis de la relación señal/ruido y la repetibilidad en función de los parámetros del sistema.

1- Introducción

La función de distribución de reflectancia bidireccional (BRDF) permite precisar la distribución angular de la radiación reflejada en una superficie. Esta función permite determinar una serie de propiedades relacionadas con la superficie muestra. Recientemente su uso se ha extendido a una variedad de aplicaciones que van del censado remoto y estudios de iluminación [1,2] hasta la caracterización de rugosidad en superficies [3, 4, 5, 6, 7] y termometría por radiación [8].

La BRDF puede ser definida como la razón entre la radiación reflejada (radiancia) y la radiación incidente (irradiancia) en función de los ángulos definidos por la dirección de incidencia y de detección [7, 8].

Este trabajo está motivado en la necesidad de desarrollar un sistema experimental para realizar mediciones de BDRF en muestras de dimensiones reducidas (superficies en el orden del cm^2) pudiendo variar las características de la radiación incidente (potencia, rango espectral, grado de colimación), del sistema de detección y los parámetros de medición (ángulos de incidencia y detección, ángulo sólido de medición, barrido controlado, etc.)

El sistema que se presenta consta de un portamuestra, un brazo móvil para colocar la fuente de radiación (brazo fuente) y otro brazo móvil para alojar el detector (brazo de detección). Fue diseñado y construido de forma que sea posible alinear el plano de la superficie muestra con la dirección de radiación incidente y elegir libremente los ángulos de incidencia y detección con respecto a la normal de la superficie.

Se muestran resultados en una superficie difusa lambertiana, que se tomó como referencia, y en muestras metálicas de chapa galvanizada. Se estudió el comportamiento

del sistema en cuanto a repetibilidad y relación señal/ruido en la detección de intensidad reflejada.

2- Definiciones y mediciones radiométricas

En todas las medidas realizadas se utilizó el sistema de coordenadas polares indicado en la figura 1 y la convención de términos empleada en [8, 9].

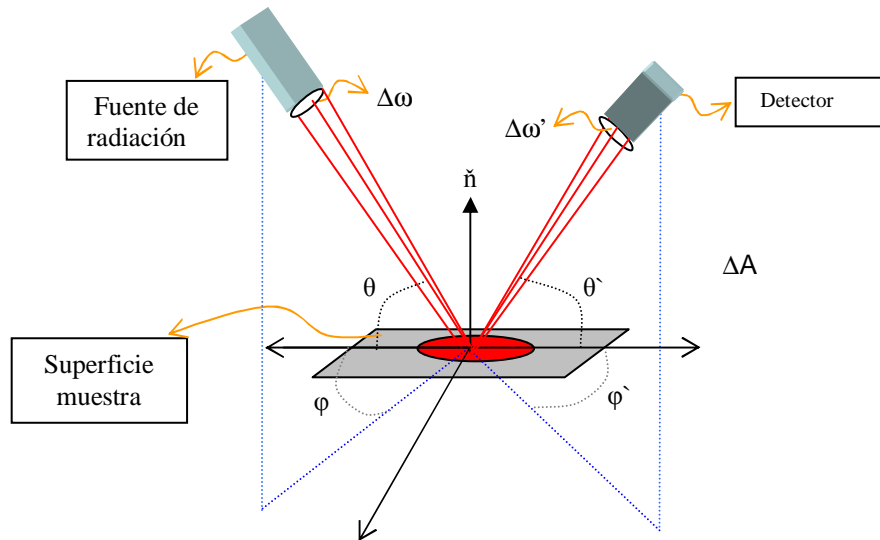


Figura 1: Esquema general

De acuerdo a la descripción anterior podemos definir la función BRDF ($\rho(\varphi, \theta, \varphi', \theta')$), como la razón entre la radiancia incidente con un ángulo (φ, θ) y la irradiancia reflejada para un ángulo (φ', θ') de detección. En las mediciones presentadas en este trabajo se utilizó incidencia normal y longitud de onda fija (632nm) por lo que reducimos la notación a:

$$\rho(\theta'; \varphi') = \frac{\phi_r(\theta'; \varphi')}{L_i \cdot \Delta A \cdot \Delta \omega' \cdot \cos \theta'} \quad (1)$$

Donde ϕ_r es la radiancia reflejada en la dirección θ', φ' (ángulos de detección), ΔA es el área iluminada sobre la muestra, $\Delta \omega'$ es el ángulo sólido del detector y L_i es la radiancia incidente.

En las mediciones realizadas la fuente utilizada fue un láser de HeNe. Se tomó como valor de L_i el cociente entre la potencia de salida y el área del spot del láser sobre la superficie. La potencia de salida medida es de $3.02 \pm 0,50 \text{ mW}$ (fotodiodo Oriel 2345).

3- Desarrollo experimental

El prototipo permite obtener los valores de intensidad reflejada por la muestra para distintos ángulos de incidencia y de detección entre 0° y 180° (ver figura 1,2 y 3). El sistema de rotación de ambos brazos permite hacer barridos con pasos variables que van desde 5° por paso hasta 0.625° por paso y está diseñado de forma que sea posible el intercambio de la fuente de luz y el detector. Todo el sistema está automatizado de manera de poder hacer barridos controlados para la detección y para la fuente. El sistema de rotación tiene una base que permite acoplar los brazos de detección y fuente al eje de un motor paso a paso que realiza el barrido angular. El sistema es controlado externamente (Zmotion / SMCMS8).

En las medidas presentadas en este trabajo se utilizaron detectores de silicio (Thorlab FDS100). La señal del fotodiodo es filtrada y amplificada a través del sistema lock-in (Dual Phase 700 de Scitec Instruments). Este brazo de detección permite además controlar el valor del ángulo sólido $\Delta\omega'$. En el esquema experimental utilizado $\Delta\omega' = 7.52 \pm 0.01 \cdot 10^{-6}$ sr. Este brazo tiene además un sistema de posicionamiento que permite regular la altura de detección y la alineación con la muestra.

El portamuestra fue diseñado y construido de forma de poder alinear el plano de la superficie muestra con la dirección de radiación incidente. Se realiza un proceso de alineación para aproximarse al ángulo de incidencia deseado. Este se realiza por aproximaciones sucesivas a la posición del pico especular. Es posible además girar la muestra, manteniendo el plano de alineación, y así lograr barridos en distintos planos de detección. En el sistema utilizado en este trabajo los valores de φ' y φ son siempre iguales, esto significa que el plano de incidencia es el mismo que el de detección.

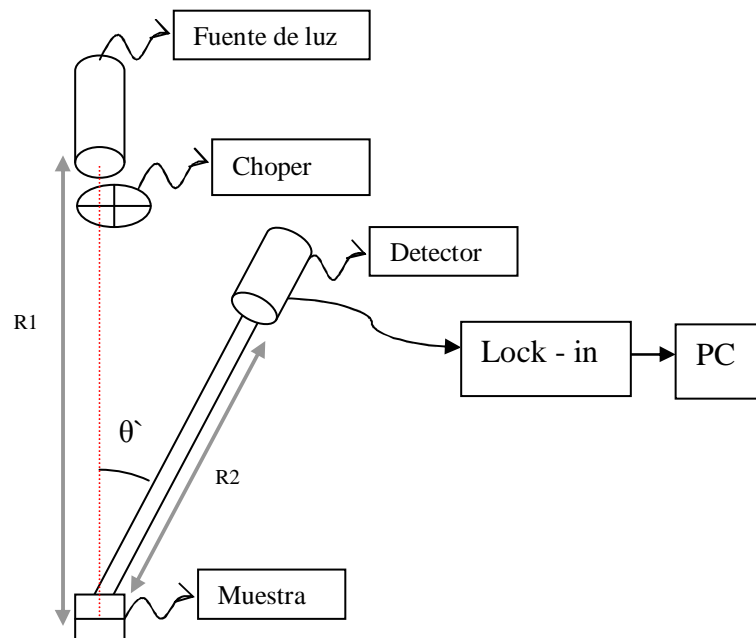


Figura 2: Esquema experimental

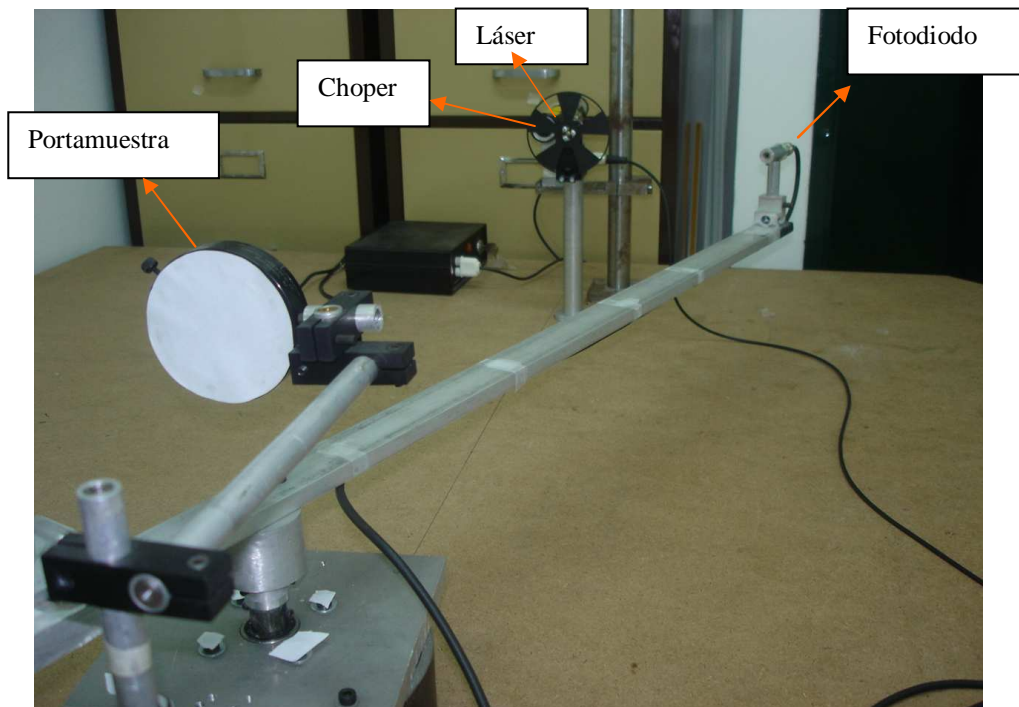


Figura 3: Foto del prototipo diseñado

4- Mediciones realizadas y análisis del prototipo

Se muestran a continuación resultados de mediciones de radiancia en distintos tipos de superficie para analizar el funcionamiento del equipo. En primer lugar se muestran resultados en una superficie difusa Lambertiana (Ocean Optics WS-1) con una reflexión del 98%. Luego se muestran resultados obtenidos para una muestra de chapa galvanizada prepintada. La misma tiene una capa superficial de pintura de 20 micrones de espesor sobre un sustrato galvanizado. Esta muestra fue elegida con el único propósito de mostrar una medición en donde se observe el pico de reflexión especular y la zona difusa. No se pretende en este trabajo obtener resultados que ajusten un modelo de superficie particular.

En todos los casos las mediciones se realizaron variando θ' entre 0° y 180° con pasos de 5° . Para el caso de las superficies metálicas se realizaron mediciones variando el plano de barrido de detección manteniendo la misma incidencia.

Cada punto en el gráfico a una dada posición angular se obtiene como promedio de 1000 valores medidos a una frecuencia de muestreo de 10KHz.

A continuación se incluyen resultados de dispersión y de estudió la repetibilidad en distintos barridos.

En la siguiente figura se muestran valores de la función BDRF (ρ medido en unidades arbitrarias) en función del ángulo θ' para un barrido típico de la muestra difusa.

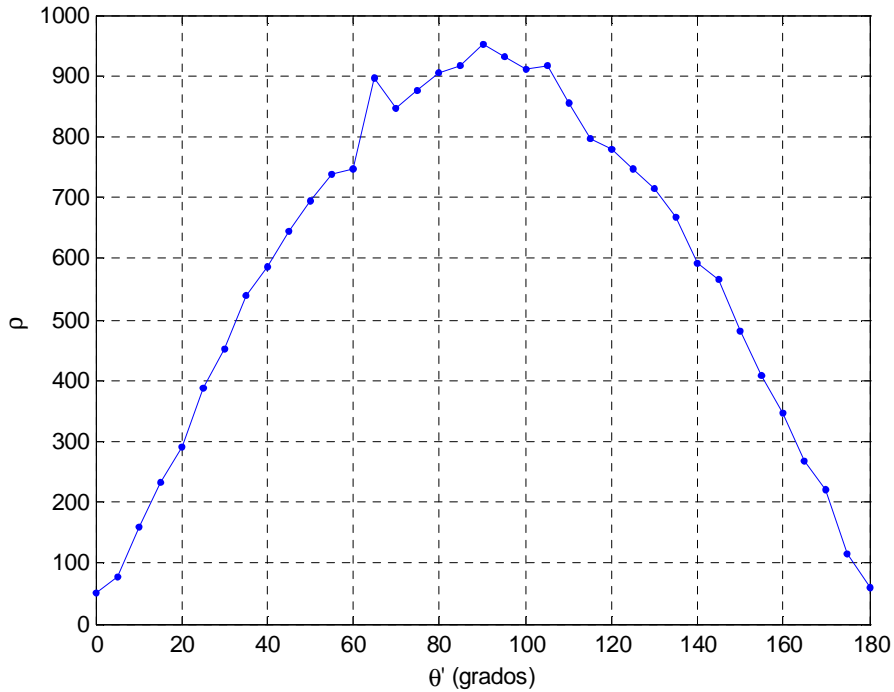


Figura 4: Curva típica obtenida con la superficie difusa

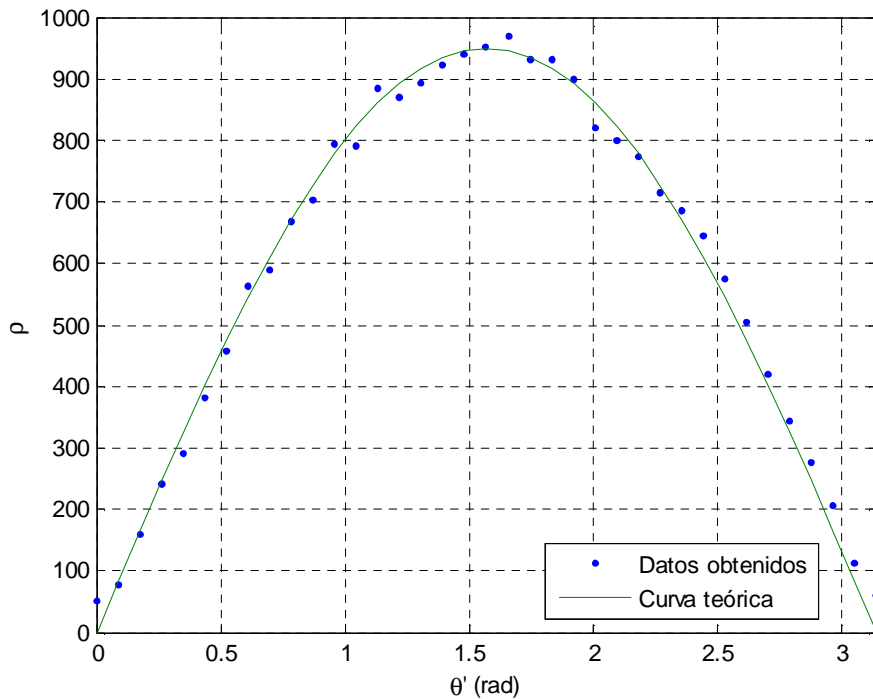


Figura 5: ajuste con el modelo lambertiano

El desvío de los valores medidos con respecto a la curva teórica es en promedio del 5%.

A continuación se muestran resultados obtenidos para una superficie de chapa galvanizada. Esta muestra se seleccionó a modo de ejemplo donde se muestre la región de reflexión especular y la región de reflexión difusa [4, 7, 10].

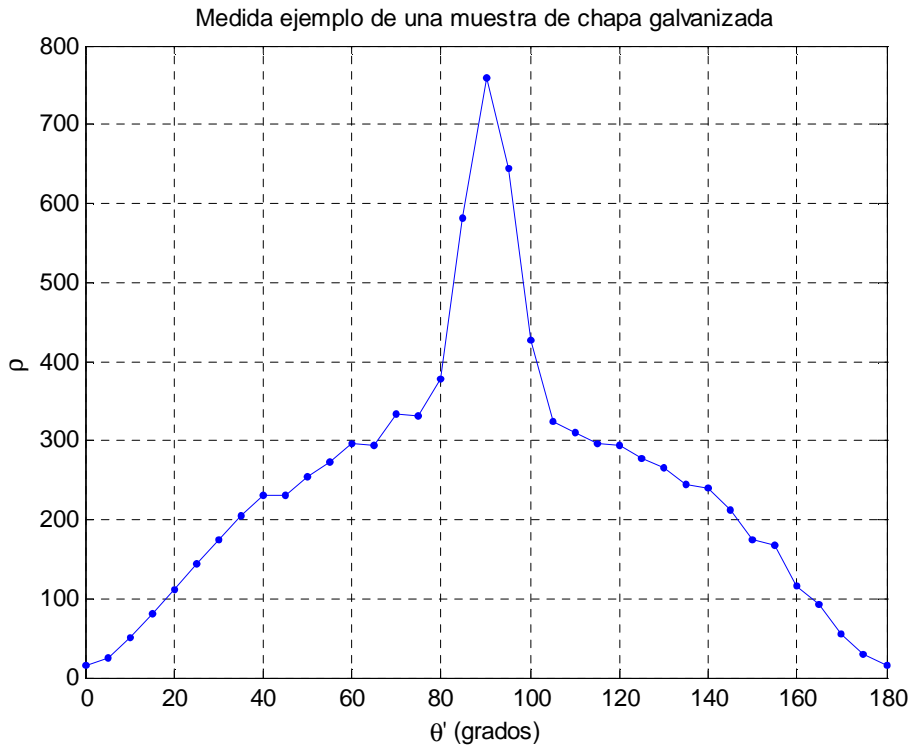


Figura 6: Ejemplo de una curva obtenida en una chapa galvanizada

5- Características del prototipo

Utilizando la configuración que se describió previamente se realizaron una serie de mediciones para caracterizar el dispositivo. Como se mencionó anteriormente el proceso de medición de BDRF se realiza haciendo un barrido angular en un plano horizontal. En este barrido el brazo de detección se posiciona en distintos valores angulares definidos previamente. En el posicionamiento angular, antes de tomar cada medición de intensidad reflejada, el brazo sufre oscilaciones debido a la desaceleración en el posicionamiento. El valor de tiempo característico de amortiguamiento varía con el ángulo sólido de detección. Un ejemplo típico de este comportamiento se muestra en la figura 7 donde se ve la transición de una posición angular a la siguiente y la oscilación amortiguada del brazo de detección.

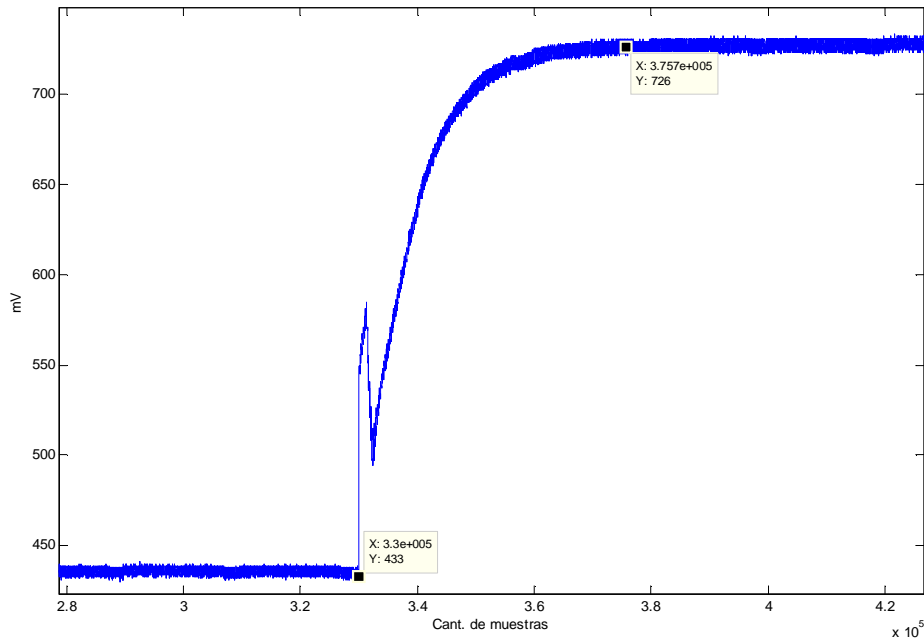


Figura 7: Intensidad en función del número de muestras tomadas mientras el brazo sufre el movimiento amortiguado. Se puede observar la oscilación que sufre el valor de intensidad debido a este movimiento. (Frecuencia de muestreo: 10KHz)

Es necesario medir en cada configuración el tiempo límite de amortiguamiento entre pasos. De no ser así se podrían obtener valores erróneos (en el orden del 30 % para el caso que se muestra en la figura 7) al comenzar a medir durante la oscilación y no en la posición angular deseada. Esto obliga a elegir un tiempo de espera entre una medición y la siguiente. En la configuración utilizada en este trabajo este tiempo es del orden de 10 seg.

Con esta configuración se realizaron una serie de barridos (θ' entre 0 y π) para estimar repetibilidad y evaluar errores en la medición. Para cada posición angular se efectuaron 1000 mediciones a las que se les calculo el valor de intensidad promedio (I) y el desvío estándar (S). En el siguiente gráfico se muestra el error relativo (S/I) en función del ángulo θ' , para un barrido típico en una muestra de chapa galvanizada.

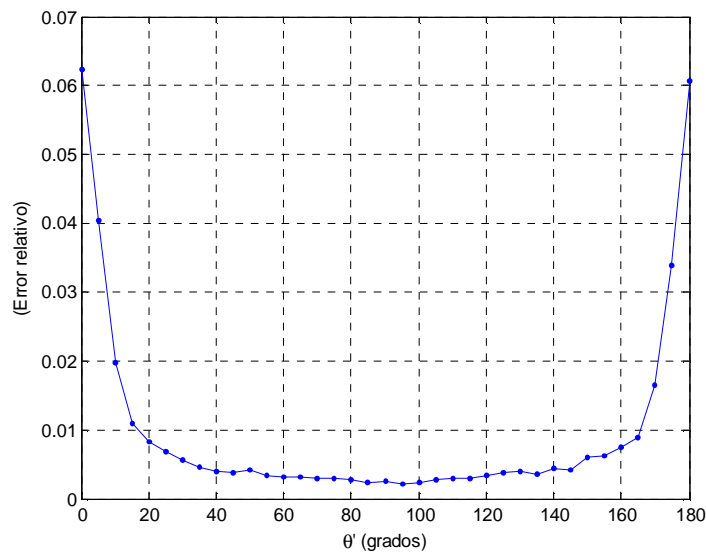


Figura 8: error relativo (S/I) en función de θ' para un barrido típico sobre chapa galvanizada

Para evaluar la repetibilidad del sistema, se realizaron una serie de mediciones sobre el mismo punto de la muestra. El siguiente gráfico muestra la superposición de 4 barridos y la curva promedio para el mismo modelo de chapa:

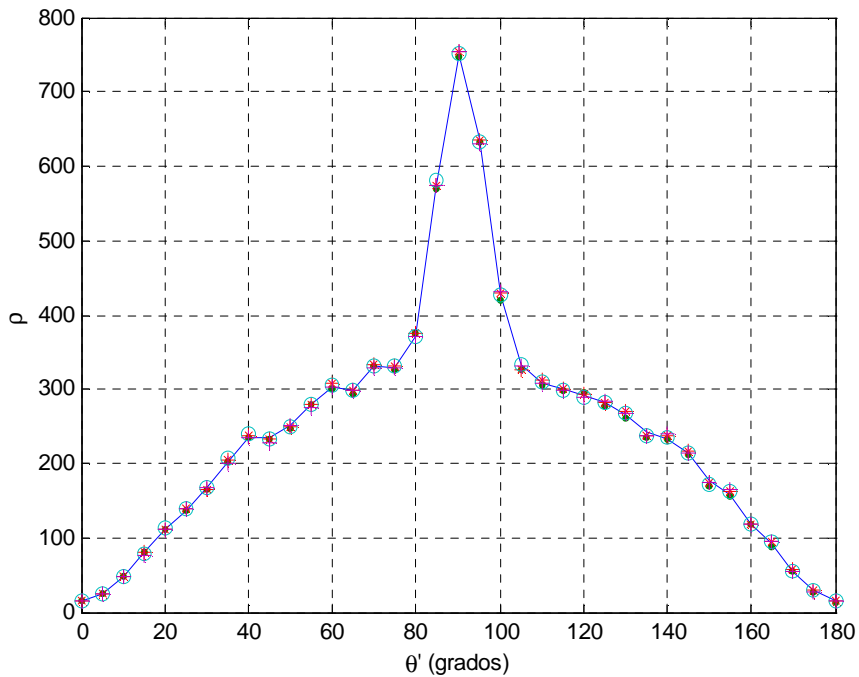


Figura 9: Superposición de cuatro barridos (*, ., o, +) y la curva promedio (---) para una muestra de chapa galvanizada.

El siguiente gráfico muestra el valor relativo de la dispersión promedio de las medidas obtenidas en los barridos de la figura 9 en función del ángulo θ' .

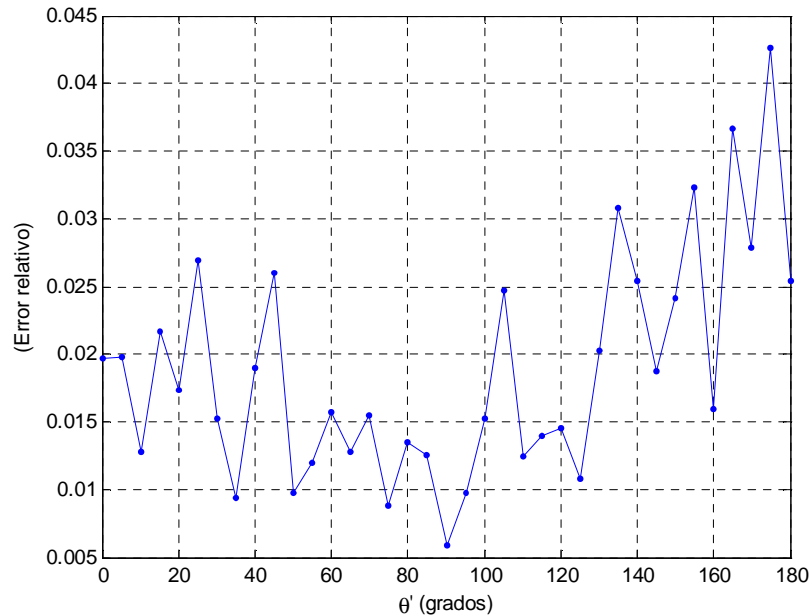


Figura 10: valor relativo de la dispersión promedio en función de θ' .

El mismo tipo de ensayo se realizó sobre la superficie difusora obteniendo resultados similares.

6- Conclusiones

Se desarrolló un prototipo para la medición y obtención de la función de reflectancia bidireccional (BRDF) de manera automática. Este sistema tiene la versatilidad de poder realizar mediciones en un amplio rango en espectros de emisión y reflectividad de superficies. El sistema mostró un comportamiento confiable y robusto en su funcionamiento. Se encontraron resultados satisfactorios en muestras en superficie difusa y superficies metálicas. Los resultados obtenidos en las mediciones para ambas presentan una dispersión inferior al 6% aún en barridos que incluyan la región de reflectividad especular y difusa donde el rango de valores en intensidad tiene variaciones en dos órdenes de magnitud. Respecto a la repetibilidad del prototipo, los resultados obtenidos muestran un promedio para cada posición angular un valor de dispersión inferior al 4%.

El trabajo futuro se centrará en el estudio y aplicación en superficies conocidas para verificación de modelos y a partir de allí extender el rango de mediciones a sistemas de interés industrial

7- Agradecimientos

Agradecemos los valiosos aportes,, discusiones y la colaboración con equipos y muestras al personal del CINI-Techint, P. Marino, J. Etcheverry, N. Bonadeo y G. Sanchez.

8- Bibliografía

- 1- Cabello A. J., Glez. Vizmanos J. L. y Kirschbaum C. F., 'Desarrollo de un método para caracterizar la reflectancia de superficies no lambertianas', Proceedings 88° Reunión Nacional de Física, Bariloche, 2003.
- 2- J. Jafolla and W Reynolds, 'Bidirectional reflectance measurement for high resolution signature modeling', Proceedings SPIE Vol. 5431, 2004.
- 3- John C. Stover, 'Optical Scattering', SPIE Optical Engineering Press, 1995
- 4- J. A. Ogilvy, 'Theory of Wave Scattering from Random Rough Surface', Adam Hilger, 1991
- 5- P. Beckmann and A. Spizzichino, 'The Scattering of Electromagnetic Waves from Rough Surfaces', A Pergamon Press Book, 1963

- 6- M. F. Ruiz Gale, E. N. Hogert, M. R. Landau y N. G. Gaggioli, 'Modelo teórico de la variación de la rugosidad de una superficie erosionada' Informe Técnico, Lab. de Óptica y Láser – IAMEND-ENDE-CNEA
- 7- Shree K Nayar, Katsushi Ikeuchi and Takeo Kanade, 'Surface Reflection: Physical and Geometrical Perspectives', Carnegie Mellon University, 1989
- 8- D.P De Witt and Gene D. Nutre, 'Radiation Thermometry', Wiley Interscience, 1934
- 9- F. E. Nicodemus, J. C. Richmond, J. J. Hsia, I. W. Ginsberg and T Limperis, 'Geometrical Considerations and Nomenclature for Reflectance', NBS Monograph 160, National Bureau of Standards, Octubre 1977
- 10- Hetch and Zayac, 'Óptica', Addison Wesley, 2000