

# MODELO DE DETECTOR ÓPTICO CON CONCENTRADOR PARABÓLICO PARA EL CÁLCULO DE LA RESPUESTA IMPULSIVA DEL CANAL ÓPTICO NO GUIADO EN INTERIORES

S. Rodríguez, O. González, A. Ayala, M. Rodríguez

R. Pérez Jiménez

Dpto. de Física Fundamental y Experimental  
Universidad de La Laguna  
srdguezp@ull.es

Departamento de Señales y Comunicaciones  
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria  
rperez@fotonica.ulpgc.es

## ABSTRACT

This paper describes a new model for the effective signal-collection area of an IR detector with Compound Parabolic Concentrator (CPC) and its influence on the calculation of the impulsive response on infrared (IR) wireless indoor channels.

## 1. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales inconvenientes con el que se enfrenta la transmisión IR en interiores es la limitación en la velocidad de transmisión debida, principalmente, a las múltiples reflexiones que sufre la señal antes de alcanzar al receptor. Esto es lo que se conoce como dispersión debida a la multipropagación, y su efecto sobre la señal transmitida puede evaluarse a través de la respuesta impulsiva. Por tanto, parece conveniente disponer de una herramienta, que mediante simulación, permita estimar la respuesta impulsiva del canal y, por tanto, el límite en la máxima velocidad de transmisión que se puede alcanzar para una probabilidad de error dada.

En trabajos anteriores, se ha presentado un algoritmo de simulación, basado en el uso de técnicas de trazado de rayos y del método de Monte Carlo, que reduce el gran esfuerzo computacional requerido por los propuestos previamente, generalmente basados en métodos deterministas [1,2]. Para disponer de una buena herramienta de simulación, además del algoritmo, se necesitan definir los modelos matemáticos que representen a cada uno de los elementos que constituyen el entorno de simulación. En estos trabajos, ya se han propuesto modelos de lentes que pueden añadirse al emisor para poder simular diferentes tipos de enlaces, y un modelo, el de Phong, capaz de dar cuenta tanto del comportamiento difuso como especular de las superficies reflectoras que podemos encontrar en este tipo de entornos. Sin embargo, hasta ahora, el área efectiva de detección de detectores IR equipados con concentradores se han modelado de manera ideal, con una ganancia constante dentro de su campo de visión (FOV) y un tiempo de propagación nulo [1,3,4].

En este trabajo, se propone un nuevo modelo matemático para el área efectiva de detección correspondiente a un detector IR equipado con uno de los concentradores no formadores de imagen más comunes en la mayoría de los enlaces IR de corto alcance, el *Compound Parabolic Concentrator* (CPC). En éste, se incorpora, respecto al modelo ideal, una función de eficiencia

óptica y un tiempo de propagación que dependen del ángulo de incidencia con el que la radiación llega al detector.

A continuación, en las siguientes secciones, se describe el modelo, y se muestra a través de los resultados de varias simulaciones, su influencia sobre el cálculo de la respuesta impulsiva del canal IR no guiado en interiores.

## 2. DESCRIPCIÓN

El entorno de simulación incluye un emisor IR, el cual puede incorporar una lente para aumentar su directividad, un detector, equipado o no con un CPC, y un recinto cerrado rectangular. Para el cálculo de la respuesta impulsiva hay que diferenciar entre dos situaciones: la contribución de potencia que es detectada por visión directa con el emisor (figura 1), y la debida a las múltiples reflexiones de la señal emitida en las superficies del recinto (figura 2).

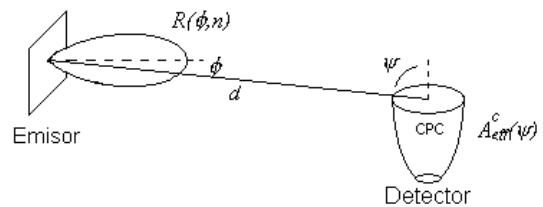


Figura 1. Contribución directa entre emisor y detector.

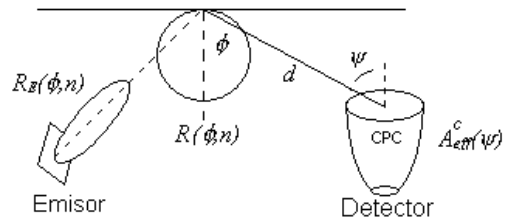


Figura 2. Contribución debida a las reflexiones.

En ambos casos, la potencia óptica detectada es proporcional al área efectiva de detección, y está determinada por:

$$P_r = \begin{cases} \frac{1}{d^2} R(\phi, n) A_{\text{eff}}^C(\psi) & 0 \leq \psi \leq \pi/2 \\ 0 & \psi > \pi/2 \end{cases} \quad (1)$$

Donde  $A_{eff}(\psi)$  es el área efectiva del detector, y  $R(\phi, n)$ , el diagrama de radiación del emisor en el primer caso, y el modelo de reflexión de la superficie en el segundo.

### 2.1. Modelo del detector óptico con CPC

El área efectiva de detección correspondiente a un detector IR equipado con un concentrador no formador de imagen viene dada por:

$$A_{eff}^c(\psi) = \begin{cases} A_r g(\psi) \cos \psi & 0 \leq \psi \leq \psi_c \\ 0 & \psi > \psi_c \end{cases} \quad (2)$$

Donde  $g(\psi)$  representa la ganancia,  $\psi_c$  su FOV y  $A_r$  el área física del detector. En el modelo ideal, un CPC de índice de refracción  $n$ , se caracteriza por introducir un tiempo de propagación nulo y una ganancia constante dentro del FOV:

$$g(\psi) = \begin{cases} \frac{n^2}{\sin^2 \psi_c} & 0 \leq \psi \leq \psi_c \\ 0 & \psi > \psi_c \end{cases} \quad (3)$$

En el nuevo modelo, al concentrador se le asocia, además del valor constante de ganancia, una eficiencia óptica  $\eta(\psi)$  y un tiempo de propagación que dependen del ángulo de incidencia con el que la radiación llega al detector:

$$g(\psi) = \begin{cases} \frac{n^2}{\sin^2 \psi_c} \eta(\psi) & 0 \leq \psi \leq \pi/2 \\ 0 & \psi > \pi/2 \end{cases} \quad (4)$$

La figura 3 muestra la eficiencia óptica y el tiempo de propagación para un CPC de aceptación angular  $30^\circ$ , índice de refracción 1.8 y apertura de salida 5.64 mm. Tanto la eficiencia óptica como el tiempo de propagación se han obtenido mediante simulación a través de un procedimiento de trazado de rayos sobre la apertura de entrada del concentrador [5,6].

### 3. RESULTADOS

Para manifestar la influencia de este modelo sobre el cálculo de la respuesta del canal, se muestran los resultados de dos simulaciones para una misma habitación y configuración del emisor y detector. En ambos casos, se considera al detector equipado con el CPC del apartado anterior, pero con la diferencia de que en una de ellas se ha utilizado el modelo ideal, y en la otra, el nuevo modelo, cuya función de eficiencia óptica y tiempo de propagación se han representado en la figura 3. Como puede observarse en la figura 4, la utilización del nuevo modelo da lugar a una reducción de la potencia óptica total detectada y un aumento de la dispersión temporal.

### 4. AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se ha financiado en parte gracias a la CICYT (TIC99-0932-C02-02), al FEDER (1FD97-1522) y a TECNASA.

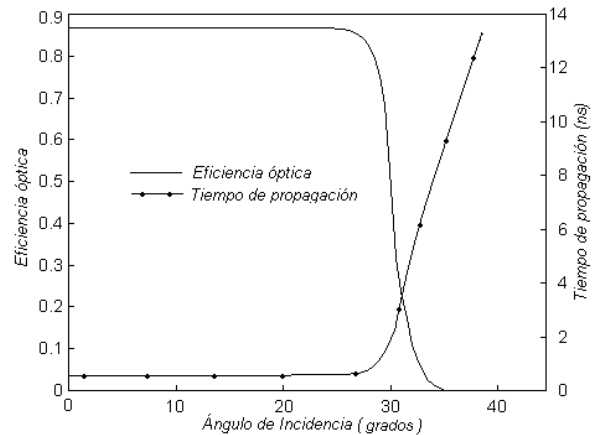


Figura 3. Dependencia de la eficiencia óptica y del tiempo de propagación con el ángulo de incidencia.

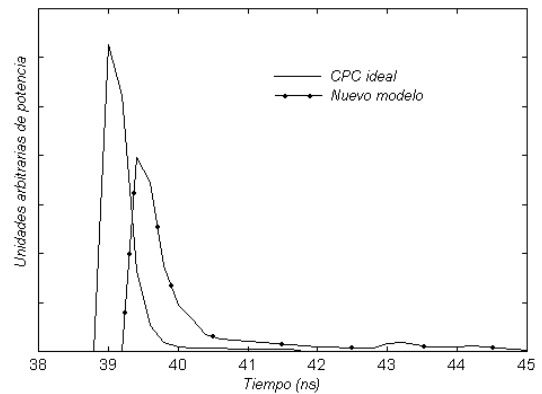


Figura 4. Comparación de las respuestas impulsivas obtenidas con el nuevo modelo y el ideal.

### 5. REFERENCIAS

- [1] Rodríguez, S., Pérez Jiménez, R., Rodríguez, M., Ayala, A. and Herrera, F., "Obtención de la respuesta impulsiva del canal para comunicaciones ópticas no guiadas en recintos cerrados", Proc. XV Symposium Nacional de la URSI, Zaragoza, Spain, pp. 635-636, 2000.
- [2] López-Hernandez F.J., Pérez-Jiménez R. and Santamaría A., "Ray-Tracing Algorithms for Fast Calculation of the Channel Impulse Response on Diffuse IR-Wireless Indoor Channels" *Optical Engineering*, Vol. 39, N° 10, 2000, pp. 1510-1512.
- [3] Kahn J.M. and Barry J.R., "Wireless Infrared Communications", *Proceedings of the IEEE*, Vol. 85, N° 2, 1997, pp. 367-379.
- [4] Ho, Keang-Po. and Kahn, J.M., "Compound parabolic concentrators for narrowband wireless infrared receivers", *Optical Engineering*, Vol. 34, N° 5, 1995, pp. 1385-1395.
- [5] Welford, W.T., Winston, R., *The Optics of Nonimaging Concentrators*, Academic Press, London, 1978.
- [6] Fraidenaich, N. and Salcedo, I., "Multimode analysis of compound parabolic concentrators with flat absorber", *Applied Optics*, Vol. 32, N° 16, 1993, pp. 2891-2900.