

# Diseño de un enlace óptico basado en sensores infrarrojos con control automático de la potencia de emisión

M<sup>a</sup> Jesús Díaz, Juan Jesús García, Juan Carlos García, Jesús Ureña, Manuel Mazo, Cristina Losada, Álvaro Hernández

Departamento de Electrónica, Universidad de Alcalá  
Alcalá de Henares, Madrid, España  
losada@depeca.uah.es

**Abstract** — Se presenta en este trabajo el diseño específico realizado para establecer un enlace óptico basado en sensores de infrarrojos. Aunque las aplicaciones de las etapas electrónicas diseñadas pueden ser variadas, el sistema ha sido aplicado a los enlaces ópticos de una barrera infrarroja, utilizada para la detección de objetos en entornos ferroviarios. Además de un control automático de ganancia, a diferencia de otros sistemas, se incorpora también un control automático de la potencia emitida, de forma que permita que el enlace se mantenga siempre en un nivel de funcionamiento óptimo. De esta forma, el enlace se adapta a los cambios que pueda introducir el canal, como puede ser la atenuación debida a la meteorología o a la suciedad de los elementos ópticos.

## I. INTRODUCCIÓN

La detección de objetos se encuentra presente en numerosas aplicaciones, como puede ser el guiado de robots, seguridad en vehículos para la detección de peatones, sistemas de vigilancia para detectar la presencia de intrusos, o el caso en el que se enmarca este trabajo que es la detección de objetos en vía.

Los sistemas sensoriales utilizados para la detección de objetos son de diversa índole (radar, visión artificial, láser, etc) [1][2][3][4], basándose la detección en el análisis de las señales captadas por el elemento sensorial. En el caso de usar sensores de infrarrojos para detectar la existencia de objetos, la técnica más habitual se basa en el establecimiento de enlaces directos tipo LOS (Line-of-Sight) entre emisores y receptores, de forma que si existe un objeto en el área vigilada, el enlace es interrumpido.

En trabajos previos [5] se aborda el diseño de una barrera infrarroja para la detección de objetos en vía, pero haciendo uso de sistemas comerciales, utilizados habitualmente en vigilancia perimetral. Una deficiencia que suelen presentar algunos sistemas comerciales es la ausencia de un control automático de la potencia de emisión, de forma que la misma se adapte al estado del canal de transmisión, de manera que el enlace se mantenga activo salvo que exista un objeto que lo interrumpa.

En este trabajo se afronta el diseño de las etapas de emisión y recepción de un enlace infrarrojo, de manera que pueda ser utilizado, entre otras aplicaciones, para la detección de objetos.

Este documento se ha estructurado como sigue. En primer lugar se expone un ejemplo de uso de este enlace en una barrera infrarroja. Debido a que lo habitual será tener múltiples enlaces funcionando simultáneamente, se muestra una codificación específica para codificar las emisiones, de forma que se puedan discriminar en recepción. A continuación se presentará el sistema diseñado y los resultados de detección obtenidos, finalizando con las conclusiones más relevantes.

## II. BARRERA INFRARROJA Y CODIFICACIÓN DE LAS EMISIONES

### A. Barrera infrarroja

Una barrera para detectar objetos en vías, está realmente formada por dos barreras, una emisora y otra receptora, situadas a ambos lados de las vías, tal como se muestra en la figura 1.

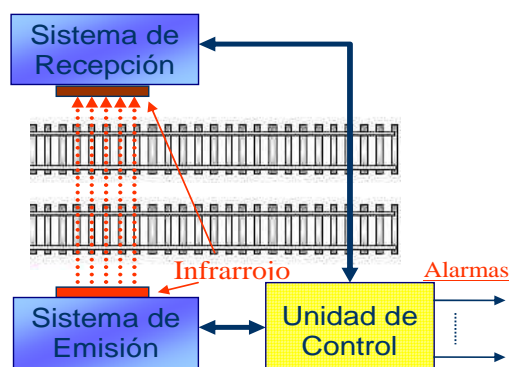


Fig. 1. Barrera infrarroja para la detección de objetos en vías.

Entre ambas barreras se establecen multitud de enlaces, y la interrupción de uno o más, en principio podría ser motivo de que existe un objeto. En [5] se encuentra una descripción más detallada del funcionamiento de estas barreras. El objetivo de este trabajo es el diseño de los bloques implicados en el establecimiento de cada uno de esos enlaces, por tanto no se abordarán los aspectos geométricos de la barrera.

## B. Codificación de las emisiones

Con el objeto de permitir la discriminación entre las diferentes emisiones que iluminan a un receptor de la barrera, se debe codificar cada emisión con un código identificador. Si se desean evitar las interferencias entre las distintas emisiones, los códigos elegidos deben ser ortogonales. Para cumplir este fin, las emisiones se codificarán con conjuntos de secuencias complementarias [6]. Aunque el estudio de estos conjuntos está fuera de los objetivos de este trabajo, se realiza a continuación una breve descripción de los mismos.

Un conjunto de secuencias complementarias es un conjunto de secuencias de longitud finita formadas por dos tipos de elementos  $\{+1, -1\}$  que se caracterizan porque la suma de sus funciones de autocorrelación aperiódicas son nulas para cualquier desplazamiento distinto de cero. Aunque un conjunto de secuencias complementarias puede estar formado por secuencias de distinta longitud consideraremos únicamente los conjuntos de secuencias con idéntica longitud. En este caso, si  $\{a_n\}$   $1 \leq n \leq p$  representa un conjunto de  $p$  secuencias complementarias de longitud  $L$  y  $R_{a_n a_n}$  representa la función de autocorrelación aperiódica de cada una de estas secuencias entonces:

$$\sum_{n=1}^p R_{a_n a_n}(i) = \begin{cases} p \cdot L & \text{si } i = 0 \\ 0 & \forall i \neq 0 \end{cases} \quad (1)$$

Dos conjuntos con el mismo número de secuencias  $\{a_n\}$  y  $\{b_n\}$  son ortogonales cuando la suma de las correspondientes funciones de correlación cruzada  $R_{a_n b_n}$  es nula, esto es:

$$\sum_{n=1}^p R_{a_n b_n}(i) = 0 \quad \forall i \quad (2)$$

La generación de los conjuntos se realiza a partir de unas semillas  $W$ . Para que dos conjuntos de secuencias sean ortogonales, sus respectivas semillas de generación deben cumplir unas determinadas propiedades. En este trabajo se han utilizado conjuntos de cuatro secuencias [7] de longitud  $L$ , existiendo cuatro conjuntos ortogonales. En la tabla 1 se muestra la relación que existe entre las semillas de cada conjunto para que sean ortogonales.

Tabla 1. Semillas para la generación de conjuntos ortogonales.

Conjunto de longitud L	Semilla
Conjunto 1	$W$
Conjunto 2	$W+L/4$
Conjunto 3	$W+2 \cdot L/4$
Conjunto 4	$W+3 \cdot L/4$

## C. Emisión de las secuencias

En esta situación, se partirá de la idea de que la eficiencia máxima de los emisores de infrarrojo se consigue en emisiones pulsadas. Para poder realizar la emisión de los dos símbolos  $\{-1, 1\}$  que forman las secuencias se va a realizar una modulación PPM (Pulse Position Modulation), de forma que se conserven las características de máxima eficiencia en la transmisión, y a la vez que se puedan discernir los mismos. En la figura 2 se muestra la asignación de código realizada, teniendo en cuenta que la duración del símbolo será de  $T$  segundos.

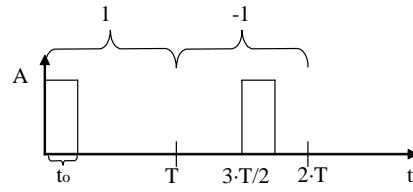


Fig. 2. Excitación pulsada para el caso de IRED y asignación de código.

Además, si se desea evaluar continuamente si el enlace está activo, la emisión de las secuencias se realizará periódicamente.

## III. SISTEMA DISEÑADO

El enlace que se propone consta de un sistema hardware que realiza la polarización del emisor de infrarrojo y adapta la señal recibida por el detector para mejorar la relación señal/ruido mediante un control automático de ganancia. Este control ayuda a inmunizar el enlace frente a situaciones climáticas adversas como pueden ser la niebla o lluvia. La figura 3 muestra a nivel de bloques la etapa emisora y receptora, así como la realimentación entre las mismas para realizar el control de la potencia de emisión. A continuación se describen los bloques desarrollados.

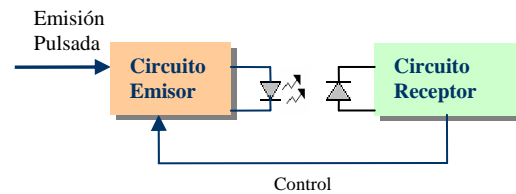


Fig 3. Esquema básico del enlace.

### A. Etapa emisora

El circuito de emisión se compone de dos etapas de amplificación que controlan la intensidad luminosa del haz de infrarrojos en función de la secuencia codificada y una señal de control.

Descendiendo un nivel más en la jerarquía del esquema de la figura 3 se puede distinguir dentro de la etapa emisora los bloques que se muestran en la figura 4, y que a continuación se describen:

- **Amplificador Diferencial:** se encarga de amplificar la señal de entrada al sistema, es decir la que produce la emisión del diodo. Su ganancia es ajustable mediante el control de la corriente de polarización  $I_0$ .
- **Amplificador de corriente:** realiza una segunda amplificación en corriente para conseguir los niveles necesarios para polarizar el diodo emisor.
- **Control de Ganancia:** actúa sobre la corriente de polarización del amplificador. La configuración básica es un espejo de corriente y la tensión que regula el nivel de la misma es una señal llamada CONTROL que proviene del circuito receptor, en donde se encuentra el control automático de ganancia. En esta parte del sistema, el control de ganancia actúa aumentando el nivel de potencia emitido en caso de que la señal recibida esté por debajo de un valor determinado.

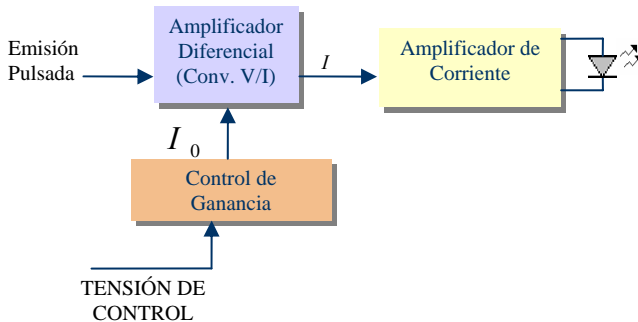


Fig 4. Etapa emisora.

El circuito emisor está basado en el diodo emisor de infrarrojos OD50L que emite en una longitud de onda de 880 nm y tiene un ángulo de apertura de 14 grados ( $\pm 7^\circ$ ). Este circuito, además de adaptar la señal digital codificada a emitir de polaridad negativa, cumple una doble función. Se encarga de polarizar el emisor para que emita la señal deseada y realiza un control de la ganancia para que en caso de que el receptor reciba una señal de poca potencia aumente la potencia de emisión. El circuito diseñado es el mostrado en la figura 5.

### B. Etapa receptora

En el lado de recepción se encuentra el control automático de ganancia (CAG) basado en un amplificador de transconductancia (OTA) y una etapa

de acondicionamiento de la señal para llevarla a la etapa de adquisición de datos para su posterior procesado.

Como elemento detector se ha utilizado el fotodiodo PIN S6436, cuya longitud de onda se corresponde con el emisor utilizado. La etapa receptora está formada por los bloques mostrados en la figura 6, y que a continuación se describen.

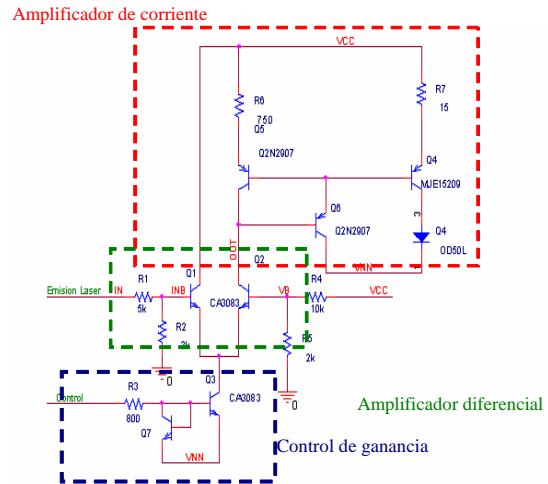


Fig 5. Circuito Emisor.

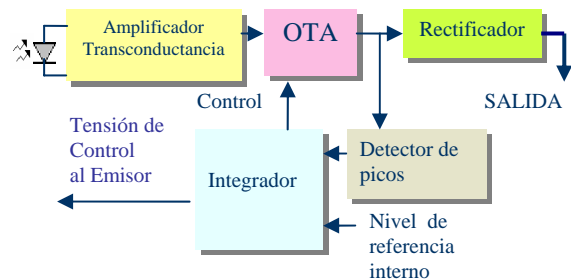


Fig. 6. Etapa receptora.

- **Amplificador de transimpedancia Trans Z:** esta etapa es un preamplificador. La ganancia del conversor debe ajustarse al valor máximo posible para mejorar la relación señal/ruido. La figura 7 muestra el diseño de esta etapa.

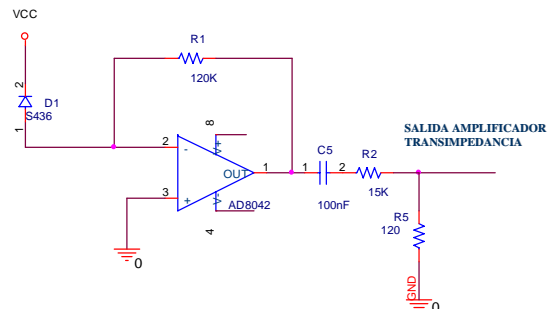


Fig 7. Amplificador de transimpedancia.

- Control automático de ganancia (OTA):** realiza un control automático del nivel de la señal recibida, de modo que trata de tener un nivel de salida constante (2.5 V a la salida del CAG cuando recibe un pulso de la emisión) compensando la pérdida de señal aumentando la ganancia. Si por el contrario, la señal recibida tiende a presentar un valor superior a 2.5 V, esta etapa reduce la ganancia del receptor, evitándose la saturación. La figura 8 muestra el diseño de la misma.

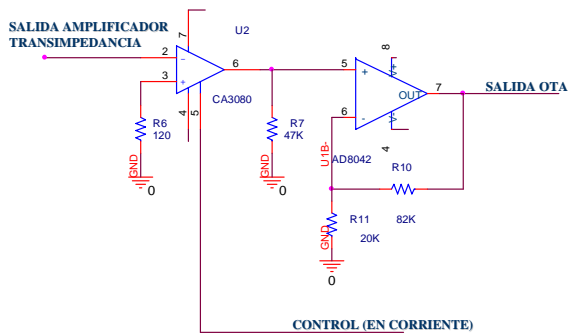


Fig 8. Control de ganancia (OTA).

- Obtención de la señal de control:** la señal de comando para los bucles de control de los circuitos emisor y receptor (potencia emitida por el emisor y ganancia en el receptor) coincide con el valor de pico de la señal emitida. Este valor se obtiene en dos etapas a partir de la señal del receptor: primero se detectan los picos positivos mediante una rectificación y un filtrado paso bajo de la señal; en segundo lugar se integra el error respecto a un nivel de referencia fijo. La figura 9 muestra el diseño.

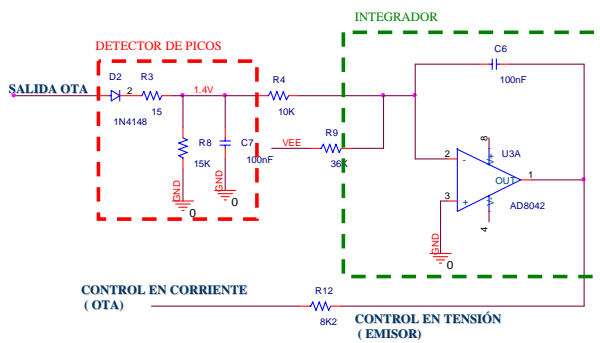


Fig 9. Obtención de la señal de control.

- Rectificador:** esta etapa se encarga de adaptar los niveles de la señal para que se ajusten al rango de entrada de la tarjeta de adquisición de

datos. La figura 10 muestra el circuito diseñado.

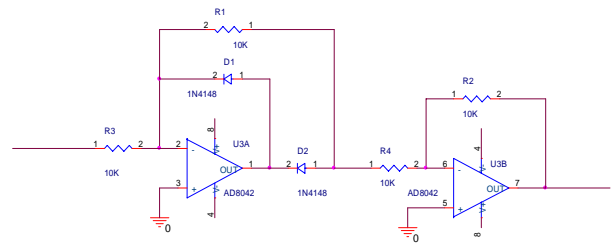


Fig 10. Etapa rectificadora.

#### IV. RESULTADOS OBTENIDOS

Para evaluar el funcionamiento del hardware diseñado se establecieron dos enlaces infrarrojos, formados por dos emisores y dos receptores enfrentados, de forma que se produjeran interferencia en las situaciones de emisión simultánea. Ya que no se ha utilizado ningún tipo de óptica que concentre las emisiones, las pruebas se han realizado en laboratorio, a una distancia de 2 metros entre emisor y receptor.

Para la emisión y adquisición de los conjuntos de secuencias ortogonales se ha desarrollado una aplicación software bajo la plataforma LabWindows, y se ha utilizado como sistema de adquisición la tarjeta DAQ-2010.

En la figura 11 muestra la emisión pulsada codificada que envía un emisor y la señal de salida obtenida en la etapa receptora una vez pasa por los bloques de procesado descritos anteriormente.

La figura 12 muestra la señal recibida cuando emiten simultáneamente los dos emisores disponibles.

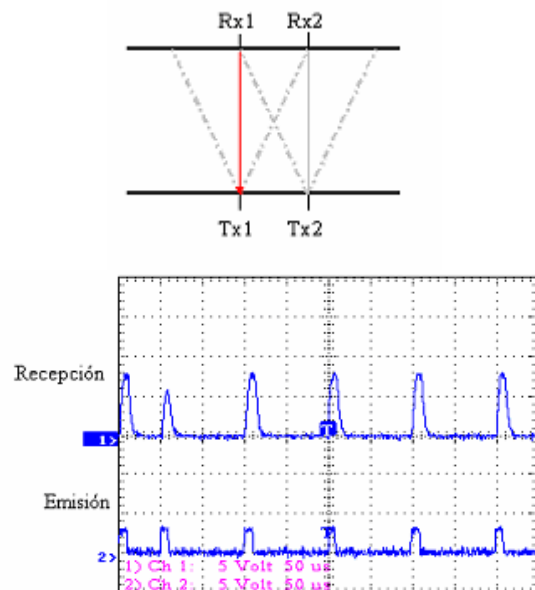


Fig 11. Enlace infrarrojo.

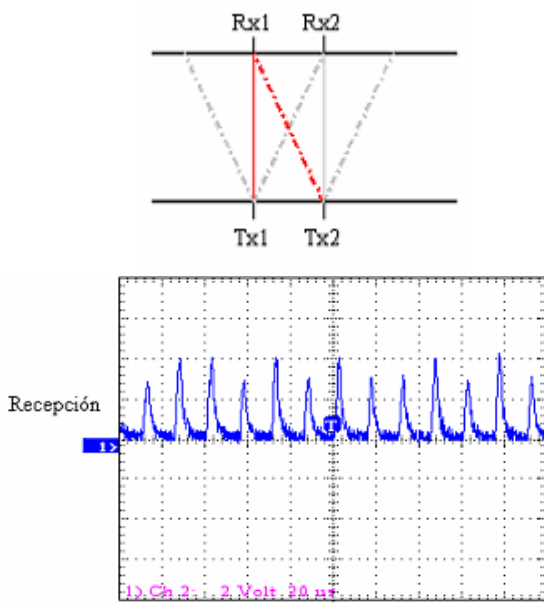


Fig 12. Emisión y recepción múltiple.

Una vez realizada la adquisición de la señal recibida, se ha llevado a cabo la detección de los conjuntos emitidos mediante la técnica de correlación. Las figuras 13 y 14 muestran los resultados obtenidos cuando se realizan cuatro emisiones consecutivas de longitud 256, y se detectan en uno de los receptores. Cada pico representa el resultado de la correlación, y como se puede apreciar, en el emisor se diferencian las dos emisiones realizadas.

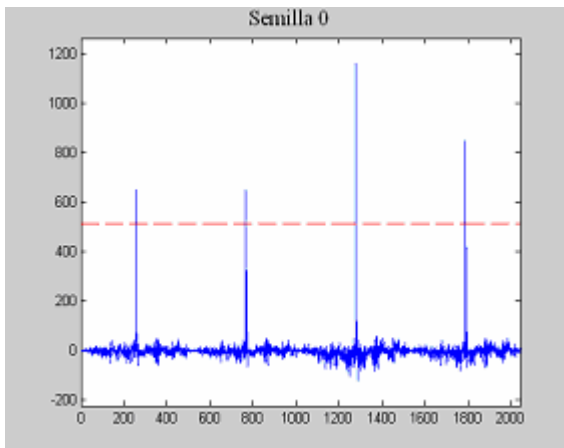


Fig 13. Resultado de la correlación con la semilla 0.

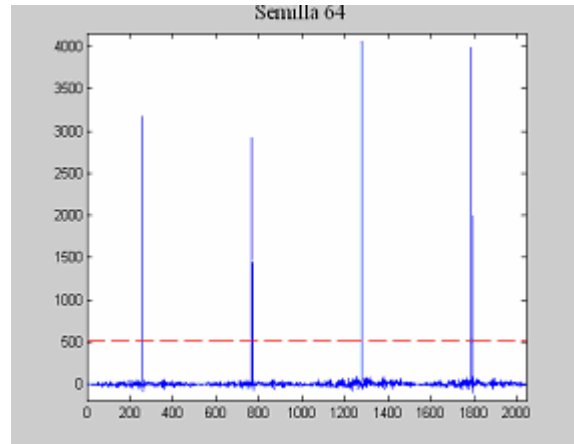


Fig 14. Resultado de la correlación con la semilla 64.

Por último, indicar que todos los bloques descritos en el apartado anterior han sido implementados en tres tarjetas PCB, tal como muestran las figuras 15, 16 y 17.

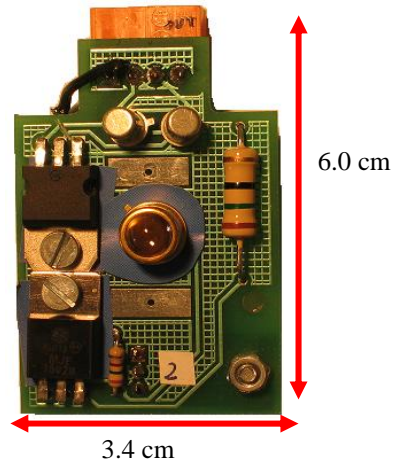


Fig 15. Prototipo emisor.

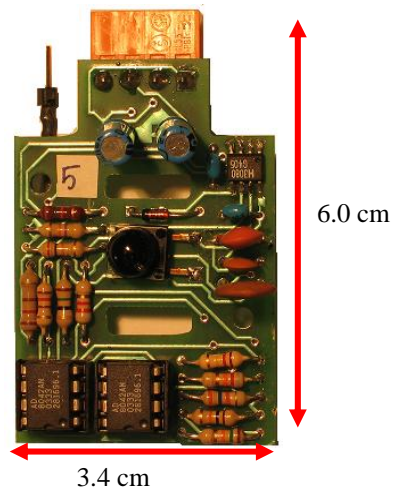


Fig 16. Prototipo receptor.

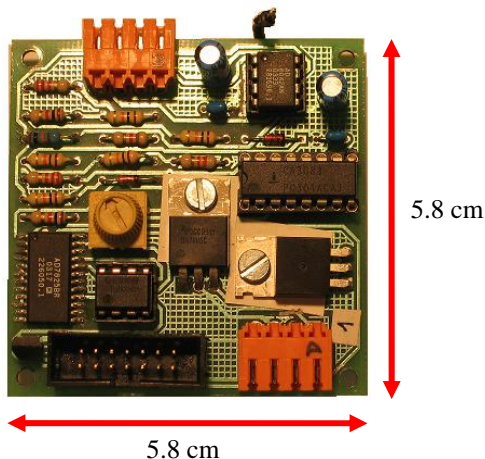


Fig 17. Prototipo control de ganancia y procesado de la señal recibida.

## V. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha analizado el primer paso realizado para la implementación de una barrera activa de infrarrojos. Se han diseñado completamente las etapas emisora y receptora, estableciéndose además un control automático de la potencia de emisión.

Para evaluar el funcionamiento del diseño realizado, se ha implementado cada uno de los bloques sobre tarjetas PCB, y se han establecido dos enlaces infrarrojos funcionando simultáneamente.

Los resultados obtenidos han mostrado la validez del desarrollo hardware realizado, así como del control de la potencia de emisión.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación del Ministerio de Fomento -proyecto VIATOR (ref. 25-2005)- y la Comunidad de Madrid - proyecto ANESUS (ref. CAM-UAH2005/016)-.

## REFERENCIAS

- [1] <http://www.laseroptronix.com/rail/>.
- [2] <http://spt.dibe.unige.it/ISIP/Projects/pft3.html>
- [3] S. Lohmeier, R. Rajaraman, V. Ramasami. "Development of an Ultra-Wideband Radar System for Vehicle Detection at Railway Crossings". 0-7803-7537-8/02 IEEE, 2002.
- [4] G.L. Foresti et al, "Progressive Image Coding for Visual Surveillance Applications based on Statistical Morphological Skeleton". 8th International Conference on Signal Processing, EUSIPCO96, Trieste, Italy, September 12-15, 1996.
- [5] García, J.J.; Hernández, Á.; Ureña, J.; García, J.C.; Mazo, M.; Lázaro, J.L.; Pérez, M.C.; Álvarez, F. "Low cost obstacle detection for smart railway infrastructures", IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Parma, Italy, June 14-17, 2004.
- [6] Tseng, C. C. and Liu, C. L.; "Complementary sets of sequences", IEEE Trans. Inf. Theory, 1972, IT-18, (5), pp. 644-652.
- [7] Álvarez, F.J.; Ureña, J.; Mazo, M.; Hernández, A.; García, J.J.; Jimenez, J.A.; "Efficient generator and pulse compressor for complementary sets of four sequences", Electronics Letters, Volume: 40, Issue: 11, 27 May 2004, Pages:703 - 704.