



Umbral Científico

ISSN: 1692-3375

umbralcientifico@umb.edu.co

Universidad Manuela Beltrán

Colombia

Herrera Santana, Fabian Humberto; Moyano Gonzalez, Jeison; Bustos, Yuly Camila  
IMPLEMENTACION DE UN TRANSMISOR DE DATOS POR FSO USANDO UN LASER  
COMERCIAL DE BAJO COSTO

Umbral Científico, núm. 13, diciembre, 2008, pp. 65-73

Universidad Manuela Beltrán

Bogotá, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30420469008>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# IMPLEMENTACION DE UN TRANSMISOR DE DATOS POR FSO USANDO UN LASER COMERCIAL DE BAJO COSTO

Recepción: Mayo 30 de 2008  
Aceptación: Diciembre 2 de 2008

Msc. Fabian Humberto Herrera Santana<sup>1</sup>  
Ing. Jeison Moyano Gonzalez<sup>2</sup>  
Ing. Yuly Camila Bustos<sup>3</sup>

## RESUMEN

En este artículo se describe el desarrollo de un sistema para transmisión de datos por FSO (Free Space Optic) usando apuntadores laser comerciales. Se presenta el desarrollo del programa para el micro controlador, el diseño de la etapa de transmisión y recepción y la realización del montaje físico del proyecto.

El sistema consta de dos módulos principales para transmisión y recepción, cada módulo dotado de accesorios como el láser, el sensor y la fuente de alimentación.

## Palabras Clave

FSO, Láser, Radar, Interfaz Aérea, Divergencia del Láser, Radiofrecuencia, Diodo Láser.

## ABSTRACT

The development of a FSO (Free Space Optic) data transmission system using commercial laser pointers is described. The development of the program for the micro controller, the design of the transmission and reception and the physical assembly of the project are also shown.

The system consists of two main transmission and reception modules, each containing accessories like the laser, the sensor and the power supply needed to transmit.

## Key Words

FSO, Laser, Radar, Laser Divergence, Radiofrequency, Diode Laser.

## INTRODUCCIÓN

Los equipos para Comunicaciones Ópticas Exteriores (FSO: Free Space Optics) utilizan la luz a través del aire como medio de transmisión, manejando señales con longitudes de onda que están alrededor de 785nm. Operan en bandas de frecuencias que no requieren de licencias como si ocurre para transmisiones en RF o microondas, lo cual hace de este tipo de comunicaciones un área de gran interés para la investigación [1]. Los equipos de FSO comerciales se utilizan para transmisión de datos a distancias que van desde los 150 metros hasta los casi 8 kilómetros, con una gran variedad de opciones en cuanto a velocidades, llegando incluso a valores como 1,448 Mbps (Gigabit Ethernet). Los principales inconvenientes de estos equipos es que requieren línea de vista para su funcionamiento y son muy susceptibles frente a condiciones climáticas [2].

Un láser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) es un dispositivo que utiliza el efecto de emisión inducida o estimulada, para generar un haz de luz coherente. Se basa en los fundamentos establecidos en 1916 por Albert Einstein utilizando la ley de radiación de Max Planck [3].

1 Docente Investigador de Ingeniería Electrónica, Miembro del Grupo de Investigación en Óptica Láser de la Universidad Manuela Beltrán.

2 Ingeniero Electrónico Universidad Manuela Beltrán.

3 Ingeniera Electrónica Universidad Manuela Beltrán.

Los equipos para Comunicaciones Ópticas Exteriores son en general costosos ya que utilizan laser de alta calidad. El propósito de este trabajo es diseñar un dispositivo que permita la transmisión de datos usando un laser comercial de baja potencia proporcionando una opción para comunicaciones de corta distancia a un bajo costo. El sistema para transmisión de datos por FSO consta de dos dispositivos cada uno con su módulo de transmisión y recepción.

## DESARROLLO

A continuación se describen cada una de las etapas desarrolladas para el diseño del sistema.

### DESCRIPCION DEL SISTEMA DE TRANSMISION DE DATOS POR FSO

El sistema de transmisión de datos por FSO cuenta con dos módulos para transmisión y recepción, cada módulo con sus accesorios como son el láser, el sensor y la fuente de alimentación. Cada módulo tiene en su tablero principal una pantalla, un teclado y diferentes botones para configuración y funcionamiento del mismo como se observa en la **Figura 1**.

**Figura 1. Sistema de transmisión de datos por FSO**



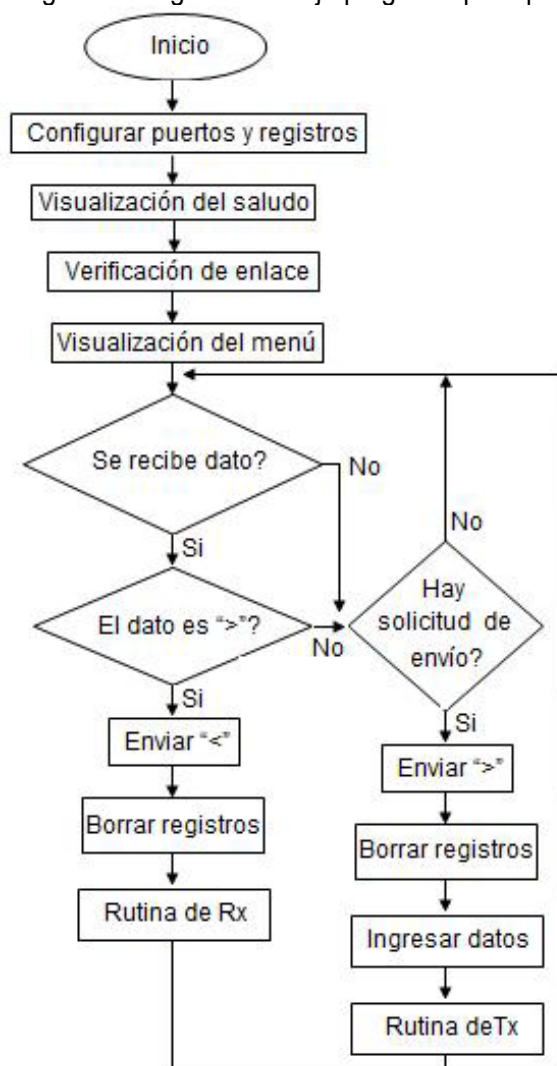
Fuente: Los autores

La pantalla permite visualizar once caracteres, digitados desde el teclado para su transmisión, una vez digitados y transmitidos se puede volver a enviar más datos o se puede transmitir desde el otro módulo la misma cantidad de caracteres. Este intercambio de información siempre se hace a través del espacio libre.

### DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL SOFTWARE PARA EL MÓDULO FSO

Partiendo de las características de los diferentes microcontroladores se comenzó a hacer el diseño del programa principal explicado mediante un diagrama de flujo en el cuál se indican las tareas a seguir después de cada etapa teniendo en cuenta el láser a utilizar, el tipo de transmisor, el tipo de receptor, las condiciones del medio ambiente, los tipos de datos a enviar y tipo el de visualización.

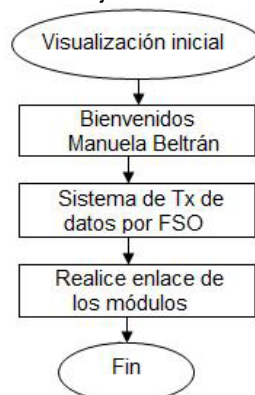
Figura 2. Diagrama de flujo programa principal



Fuente: Los autores

En la **Figura 2** se puede observar el diagrama de flujo principal del programa para el microcontrolador donde se siguen los pasos de configuración y de visualización. Este diagrama de flujo muestra los caracteres que fueron utilizados para el control de la transmisión y recepción de los datos, en este también esta contenido la visualización inicial y secundaria que se realiza en la LCD.

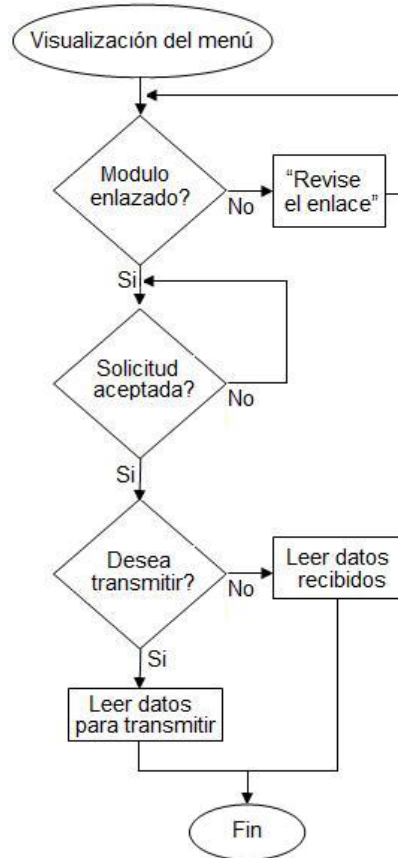
Figura 3. Diagrama de flujo de visualización inicial en LCD



Fuente: Los autores

En la **Figura 3** se muestra el diagrama de flujo correspondiente a la visualización del saludo, en esta subrutina se muestran los mensajes de bienvenida, nombre del proyecto y la instrucción dada al usuario para realizar el enlace de los módulos. Estos mensajes aparecen en la pantalla en el momento en que es encendido el módulo, en esta etapa no se puede realizar ninguna operación para transmitir o digitar algún dato, ya que son letreros informativos que no pueden ser interrumpidos.

**Figura 4. Diagrama de flujo de visualización del menú en LCD**



Fuente: Los autores

La **Figura 4** muestra el diagrama de flujo de la subrutina llamada visualización del menú, en esta se lleva a cabo la interacción con el usuario, los letreros que aparecen en la pantalla de cada módulo son informativos y proporcionan una guía sobre el proceso que se está ejecutando en el módulo tal como solicitud de envío, transmisión de datos y la lectura con la visualización del dato recibido en el módulo receptor.

## DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL HARDWARE PARA EL MÓDULO FSO

A continuación se describen los componentes utilizados para la creación del Módulo FSO y algunas de sus características.

### Láser

La **Figura 5** muestra un láser comercial, el cual viene con una carcasa o recubrimiento de aluminio que lo hace fácil de desfragmentar para retirarle las piezas internas de las cuales solo se utilizará el lente y el diodo láser [2].

1. Conexión del polo negativo de las baterías
2. Pulsador de encendido
3. Resistencia limitadora de corriente de 47 Ohmios
4. Carcasa del diodo láser
5. Muelle de ajuste de la lente
6. Lente de convergencia del haz
7. Tornillo de ajuste de la lente

Figura 5. Partes del Láser



Fuente: [http://heli.xbot.es/Laser\\_game/laserg.htm](http://heli.xbot.es/Laser_game/laserg.htm)

### Implementación de la Óptica

Para el manejo de la parte óptica se utilizó el fototransistor NTE 3032 NPN, este es un detector de luz visible e Infrarroja. El NTE 3032 está diseñado para usos de inspección industrial, procesamiento, control, conmutación y aplicaciones de circuitos lógicos o cualquier diseño que requiera sensibilidad óptica y características estables. En la **Tabla 1** se observan las características eléctricas con las que fue diseñado el fototransistor NTE 3032.

Tabla 1. Características eléctricas del NT3032

**Electrical Characteristics:** ( $T_A = +25^\circ\text{C}$  unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Test Conditions	Min	Typ	Max	Unit
<b>Static Characteristics</b>						
Collector Dark Current	$I_{CEO}$	$V_{CC} = 10\text{V}, H \sim 0$	—	—	100	nA
Collector–Base Breakdown Voltage	$V_{(BR)CBO}$	$I_C = 100\mu\text{A}$	80	—	—	V
Emitter–Collector Breakdown Voltage	$V_{(BR)ECO}$	$I_E = 100\mu\text{A}$	5	—	—	V
<b>Optical Characteristics</b>						
Light Current	$I_L$	$V_{CC} = 5\text{V}, R_L = 100\Omega$ , Note 1	8	—	—	mA
Photo Current Rise Time	$t_r$	$R_L = 100\Omega, I_L = 1\text{mA (Peak)}$ , Note 2	—	15	—	$\mu\text{s}$
Photo Current Fall Time	$t_f$		—	15	—	$\mu\text{s}$

Fuente: Datasheet NT3032

El microcontrolador PIC 16F877A fue el utilizado para el control de las rutinas ya descritas, pertenece a una familia que posee memoria tipo Flash, lo que permite reprogramarlo las veces que sea necesario sin necesidad de usar ningún otro dispositivo más que el propio programador [4].

Las características principales de este dispositivo son:

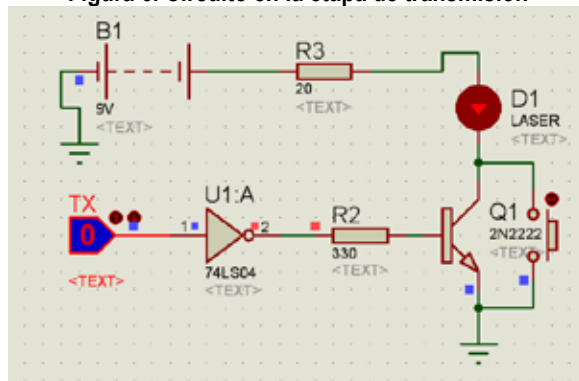
- Conversor Analógico/Digital de 10 bits
- Set de 35 instrucciones
- Temporizadores + Watchdog Timer
- 2 módulos PWM
- Protocolos de Comunicaciones USART, PSP e I<sup>2</sup>C

El set de instrucciones de estos microcontroladores es reducido, lo cuál facilita la programación de los mismos. En general para la familia de los 16F87X existen 35 instrucciones, con las que se puede hacer lo mismo o más que con los antiguos microprocesadores de 105 instrucciones. Para la programación de estos dispositivos se pueden elegir varios lenguajes, por ejemplo ensamblador, C, etc. [5]. Los microcontroladores tienen un espacio de memoria que varía según las familias y según el modelo dentro de cada familia donde se guarda el programa a ejecutar. Dado que el microcontrolador solo interpreta lenguaje de máquina, es decir, estados lógicos de 1 ó 0, sería por demás complicado programar con este lenguaje; es por eso que existe un compilador, que transforma el ensamblador que se escribe en lenguaje “entendible” para el microcontrolador [6].



## Etapas de Transmisión y Recepción

Figura 6. Circuito en la etapa de transmisión

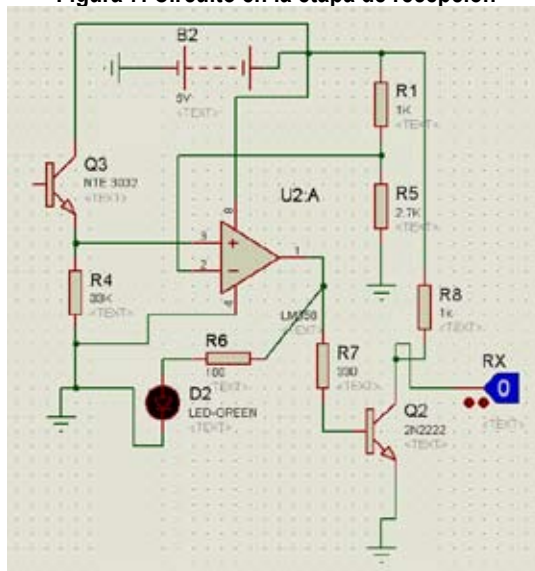


Fuente: Los autores

Con el fin de mejorar el desempeño de la etapa de transmisión del sistema se diseñó un circuito que permite la activación del láser únicamente en el momento en que se hace la solicitud de envío y la transmisión de datos. La **Figura 6** muestra el diseño del circuito para la etapa de transmisión [7] [8].

La etapa de recepción se diseñó teniendo en cuenta la pérdida de potencia y la deformación de la señal cuando esta recorre cierta distancia por el espacio libre, en dicha etapa se amplifica, regenera y compara la señal que allí llega antes de ser enviada al microcontrolador. El principal elemento de esta etapa es el fototransistor NTE 3032, el cual es muy sensible a la luz y su configuración permite manejar diferentes rangos de luminosidad. La **Figura 7** muestra el diseño implementado para la etapa de recepción [7] [8].

Figura 7. Circuito en la etapa de recepción



Fuente: Los autores

## Montaje Físico

Las cajas de los módulos fueron diseñadas y elaboradas en fibra de vidrio, un material caracterizado por ser muy resistente y posteriormente recubiertas con pintura usada en automóviles aumentando su resistencia y protegiéndolas de las condiciones climáticas y ambientales como niebla, lluvia, luminosidad, altas temperaturas y humedad. En la **Figura 8** se muestra una imagen de las cajas en fibra de vidrio ya pintadas y listas para ensamblar los diferentes componentes.

Figura 8. Módulos en Fibra de Vidrio



Fuente: Los autores

Los láseres y fototransistores se encuentran ubicados en diferentes cajas, marcadas con un símbolo que los diferencia entre sí, cada uno cuenta con una entrada para trípode la cuál facilita el direccionamiento hacia el otro módulo, estos se encuentran protegidos en una caja negra para evitar su deterioro y la interferencia que puede presentarse por luces o señales ajenas al sistema de transmisión de datos por FSO. En la **Figura 9** se muestra la caja correspondiente para el receptor etiquetada con su respectivo símbolo.

Figura 9. Accesorio de recepción (fototransistor)



Fuente: Los autores

La **Figura 10** muestra la entrada que poseen las cuatro cajas negras donde se ensambla el trípode con el dispositivo.

Figura 10. Ensamble del trípode



Fuente: Los autores

La **Figura 11** muestra un módulo ya ensamblado con sus distintos componentes y entradas así como la respectiva señalización de los diferentes indicadores y botones.



Figura 11. Módulo terminado



Fuente: Los autores

En la **Figura 12** se muestra la parte delantera de un módulo donde van las conexiones del láser y el sensor con su respectiva señalización.

Figura 12. Vista frontal transmisor/receptor



Fuente: Los autores

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

Las pruebas que se realizaron para analizar el comportamiento del sistema de transmisión de datos por FSO fueron llevadas a cabo en un recinto cerrado, libre de las interferencias climatológicas y lumínicas del medio ambiente, las pruebas se realizaron en 2 situaciones diferentes: la primera en condiciones de muy poca luz y la segunda con una fuente de luz doméstica de 100W. Se realizaron pruebas desde una distancia de 90 cm obteniendo excelente transmisión en ambas condiciones, posteriormente se incrementó la distancia gradualmente hasta casi los 5 metros (meta propuesta para el trabajo) para lo cual el sistema mostro buen desempeño bajo condiciones de poca intensidad lumínica. En condiciones de iluminación con luz domestica se presentaron problemas debido a que la señal del láser recibida en el receptor producía un voltaje de detección muy bajo consiguiendo transmisión de datos confiable solo en algunas ocasiones, la Tabla 2 muestra los resultados para diferentes distancias de prueba en donde se midió el voltaje en el sensor de cada módulo, dando como resultado una muy buena transmisión sin fallas las distancias de 420 cm en ambas condiciones y una distancia máxima de 5m para la transmisión en condiciones de poca luz.

La velocidad de transmisión que alcanza el dispositivo es de 300 baudios.

Tabla 2. Resultados obtenidos

DISTANCIA	Voltaje en sensor Emisor, con láser ON	Voltaje en sensor Emisor, con láser OFF	Luz (Bombillo 100W)	Transmitió
90 cm	3,6 v	0,70 v	NO	SI
90 cm	3,55 v	1,85 v	SI	SI
120 cm	3,6 v	0,78 v	NO	SI
120 cm	3,7 v	1,61 v	SI	SI
420 cm	3,53 v	0,95 v	NO	SI
420 cm	3,68 v	2,05 v	SI	SI
5 m	3,55 v	0,80 v	NO	SI
5 m	3,50 v	0,63 v	SI	SI/NO

Fuente: Los autores

## DISCUSION

- Se desarrolló un sistema de transmisión de datos por FSO a partir de la comunicación vía láser, usando un apuntador comercial de bajo costo.
- El tipo de fototransistor utilizado, la lógica, y el método de comunicación fueron usados en la implementación de un sistema para el envío y recepción de datos dentro de los alcances propuestos para este trabajo, sin embargo, la experiencia adquirida durante la etapas de desarrollo y análisis de resultados permite afirmar que al querer superar las distancias obtenidas y las velocidades de transmisión, se deberán incluir componentes en el diseño de mejores características y por lo tanto mayor costo.
- Los sistemas FSO presentan el problema de requerir línea de vista entre receptor y transmisor, además una leve desviación en el apuntamiento genera errores inmediatos de comunicación, por lo cual es necesario un montaje estable y la implementación de algoritmos de detección y corrección de errores robustos para obtener un buen desempeño del sistema.
- El proyecto podría llegar a ser útil en el desarrollo de aplicaciones que requieran una comunicación inalámbrica para cortas distancias y bajas velocidades a un muy bajo costo, funcionando en una banda de frecuencias que no requiera de licencias por parte del gobierno.

## REFERENCIAS

- [1]. Emisor y receptor láser. Tejedor Heli, [2008, Septiembre 12], [en línea]. Disponible: [http://heli.xbot.es/Laser\\_game/laserg.htm](http://heli.xbot.es/Laser_game/laserg.htm)
- [2]. Interwifi, [2007, Septiembre 12], [en línea]. Disponible: <http://www.laserwifi.com/laserfso.htm>
- [3]. SAFFORD Edward. Introducción a la Fibra Óptica y el láser. España: Paraninfo, 1988, 252 p.
- [4]. Hayes, Jhon P. introducción al diseño lógico digital. Año 1996.
- [5]. Angulo Usategui, José María. Microcontroladores [PIC] Diseño practico de aplicaciones segunda parte. PIC16F87X, Año 2000.
- [6]. Wikipedia, [2008, Septiembre 3], [en línea]. Disponible: <http://es.wikipedia.org/wiki/PIC16F87X>
- [7]. Faulkenberry, Lucas M. Introducción a los amplificadores Operacionales con aplicaciones ACI lineales, Año 1994.
- [8]. Boylestad, Robert L. Electrónica, teoría de circuitos. Año 1997.

## BIOGRAFÍA

Ing. Fabián Herrera M.Sc.

Ingeniero Electrónico, Matemático y Magister en electrónica de la Pontificia Universidad Javeriana. Docente investigador de la Universidad Manuela Beltrán.

Tema Interés: Telecomunicaciones

Jeison Arlex Moyano G.

Candidato a Ingeniero Electrónico con Diplomado en Equipamiento Biomédico de la Universidad Manuela Beltrán.

Yuly Camila Bustos E.

Candidato a Ingeniero Electrónico con Diplomado en Telecomunicaciones Móviles Celulares de la Universidad Manuela Beltrán.

Tema Interés: Telecomunicaciones.