

IV CONCURSO DE PROYECTOS DE  
INGENIERÍA DE LA ETSI “PROYECTA TU FUTURO”

MODALIDAD: Ada Lovelace

Centro de Formación Profesional Específica  
Nuestra Señora de las Mercedes

***Aplicaciones de bajo coste con  
LASER: escuchas, transmisión de  
datos y vibrómetro.***

Alumnos: Juan María Martínez Rodríguez, Francisco Castellano Cáceres,  
Álvaro Ortíz Fernández, Iván Rosado González.

Profesores: Juan María Díaz Cano, Jonathan Medina García.

Huelva, 9 de Mayo de 2014

# Índice.

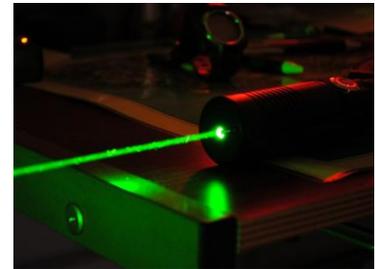
<b>1</b>	<b><u>INTRODUCCIÓN.</u></b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b><u>OBJETIVOS.</u></b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b><u>ESTUDIO DE LOS SENSORES Y ACTUADORES.</u></b>	<b>1</b>
<b>3.1</b>	<b>LASER.</b>	<b>1</b>
<b>3.2</b>	<b>LDR.</b>	<b>2</b>
<b>3.3</b>	<b>FOTODIODO.</b>	<b>2</b>
<b>3.4</b>	<b>FOTOTRANSISTOR.</b>	<b>3</b>
<b>4</b>	<b><u>MÉTODO DE ESCUCHA DE BAJO COSTE “LASER-ESPÍA”.</u></b>	<b>3</b>
<b>4.1</b>	<b>TRANSMISIÓN:</b>	<b>3</b>
<b>4.2</b>	<b>RECEPTOR:</b>	<b>3</b>
<b>4.3</b>	<b>PROTOTIPO.</b>	<b>4</b>
<b>5</b>	<b><u>TRANSMISIÓN DE DATOS A LARGA DISTANCIA CON APLICACIÓN MILITAR....</u></b>	<b>4</b>
<b>5.1</b>	<b>TRANSMISIÓN:</b>	<b>5</b>
<b>5.2</b>	<b>RECEPTOR:</b>	<b>5</b>
<b>5.3</b>	<b>PROTOTIPO.</b>	<b>5</b>
<b>6</b>	<b><u>VIBRÓMETRO DE BAJO COSTE.</u></b>	<b>6</b>
<b>6.1</b>	<b>VIBRÓMETROS COMERCIALES.</b>	<b>7</b>
<b>6.2</b>	<b>TRANSMISIÓN:</b>	<b>8</b>
<b>6.3</b>	<b>RECEPTOR:</b>	<b>8</b>
<b>6.4</b>	<b>PROTOTIPO.</b>	<b>9</b>
<b>7</b>	<b><u>PRESUPUESTO.</u></b>	<b>9</b>
<b>8</b>	<b><u>CONCLUSIONES.</u></b>	<b>9</b>
<b>9</b>	<b><u>BIBLIOGRAFÍA.</u></b>	<b>10</b>

---

## 1 Introducción.

Desde la invención del láser se ha explotado mucho su uso militar incluso muchas veces en proyectos en laboratorios secretos. Una de las aplicaciones más simples y conocidas es el posicionador de blanco por láser.

La primera vez que se logró la transferencia de datos vía láser a larga distancia fue en las islas Canarias, durante el año 2009, realizado por un equipo de OerlikonSpace y la conexión vía láser tuvo una distancia de 1,5 millones de kilómetros. El experimento realizado por los ingenieros consistió en poner en marcha un láser que enlazaba entre las islas de La Palma y Tenerife. La unidad de transmisión fue modificada para que las condiciones en los 144 kilómetros entre las islas reflejaran exactamente las que prevalecen en un 1,5 millones de kilómetros de enlace a través del espacio. Esto se logró gracias a la reducción de la emisión de apertura del láser a un diámetro de menos de la mitad de un milímetro con el fin de debilitar la señal de la luz.



En Alemania, científicos del Instituto Tecnológico de Karlsruhe han logrado enviar un total de 26 terabytes (700 DVD's) en tan solo un segundo. A esa impresionante velocidad sería posible transferir la biblioteca más grande del mundo en tan sólo 10 segundos.

## 2 Objetivos.

El presente trabajo tiene por objetivo el estudio, diseño y realización de unos dispositivos que sean capaces de realizar escuchas a través de cristales, que permita realizar transmisiones de datos sin encriptación a larga distancia y de forma que no sea interceptable por terceras personas, usando para ello vehículos aéreos no tripulados (UAVs) con espejos. Estos dispositivos pueden ser usados para la seguridad ciudadana por parte de los cuerpos de seguridad del estado.

Además también servirá para realizar un estudio del funcionamiento de las máquinas rotativas con la peculiaridad que será posible usarlo en zonas peligrosas como centrales nucleares o en zonas de alta temperatura, donde las personas no pueden estar.

Estos sistemas se realizarán al menor coste, utilizando materiales reciclados y con el menor número posibles de componentes consiguiendo las máximas prestaciones.

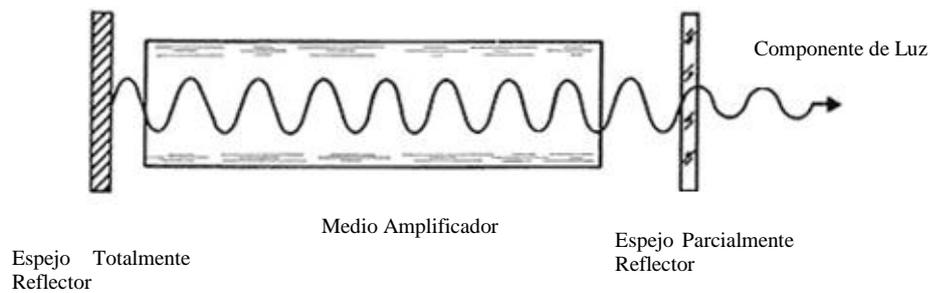
En todos ellos utilizaremos un puntero LASER gracias a sus características como su direccionalidad, posibilidad de modulación y bajo consumo y coste.

## 3 Estudio de los sensores y actuadores.

Se estudian los sensores y actuadores del trabajo, para ello se realiza en los siguientes apartados una serie de definiciones para ver el correcto funcionamiento del mismo.

### 3.1 LASER.

Un láser es la emisión estimulada de radiación de las moléculas de gas que contiene, genera o amplifica un haz de luz coherente de determinada intensidad. Se basa en la excitación de una onda estacionaria entre dos espejos, uno opaco y otro traslúcido. Su nombre proviene de Light Amplification by Stimulated Emission of Radiations.



El primer láser lo construyó Theodore H. Maiman en Malibú, California. Maiman construyó su láser con una barra de rubí, rodeada de una lámpara de xenón en forma de hélice. Los extremos de la barra de rubí habían sido recubiertos con unas películas reflectoras, a fin de que actuaran como espejos. El láser entonces emitía una descarga muy rápida e intensa de luz roja. Este tipo de láser no era continuo sino pulsado o intermitente.

		Long. de onda
Ultravioleta (UV)		menor de 400 nm
Luz visible	Violeta	460 nm
	Azul	500 nm
	Verde	560 nm
	Amarillo	590 nm
	Naranja	610 nm
	Rojo	660 nm
Infrarrojo (IR)		mayor de 700 nm

Los LASER los podemos clasificar según su constitución interna en gas, estado sólido, semiconductores y líquidos:

- LASER de gas: Es el láser más común. Se utiliza un gas que debe ser excitado y para ello se usa una descarga eléctrica.
- LASER de estado sólido: El medio activo es de estado sólido, como el cromo de una barra de rubí. Los semiconductores también están incluidos, pero la diferencia es que la excitación se realiza por medio de la corriente eléctrica.
- LASER líquidos: El medio activo es líquido y se usa un colorante, teniendo la ventaja de que se puede sintonizar para cualquier color pero para excitarse se necesita otro láser.

Nuestro láser será un puntero láser rojo que tiene una longitud de onda de 650nm.

### 3.2 LDR.

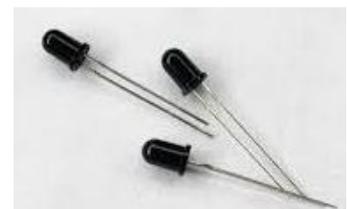
Una fotorresistencia lineal LDR “light dependent resistors” es un componente electrónico cuya resistencia disminuye con el aumento de intensidad de luz incidente. Cuando no recibe luz o hay oscuridad su resistencia es alta y cuando reciben luz su resistencia disminuye.



El inconveniente que puede presentar en algunas aplicaciones es que la variación de resistencia no es rápida, por lo que no es conveniente usarlo en aplicaciones con variaciones bruscas de iluminación.

### 3.3 Fotodiodo.

Un fotodiodo es un semiconductor construido con una unión PN, se polariza inversamente, con lo que se producirá una cierta circulación de corriente eléctrica proporcional a la cantidad de luz que incide en él (luz visible o infrarroja).



Los fotodiodos pueden ser: PN (sensible a la luz), PIN (formada por tres capas) y APD (fotodiodo de avalancha).

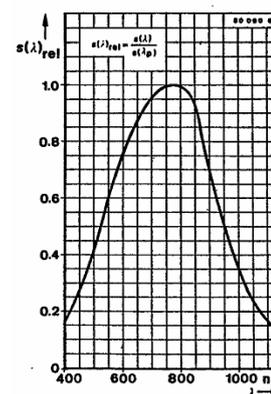
### 3.4 Fototransistor.

Un fototransistor es un fotodiodo y un transistor bipolar NPN donde la base recibe la radiación de la luz.

Cuando la luz incide en la base genera portadores y esta carga produce la conducción. Los fototransistores combinan en un mismo dispositivo la detección de luz y la ganancia.



En nuestro caso usaremos el fototransistor BPW40 que presenta la mayor ganancia para la longitud 700nm que corresponde con nuestro láser de 650nm.



## 4 Método de escucha de bajo coste “LASER-espía”.

En este proyecto se expone un método en el cual podremos realizar la escucha del interior de una habitación mediante la vibración del cristal en el cual reflejamos un láser. Se realizará el diseño de un receptor a bajo coste. Este receptor será el encargado de recoger la luz del LASER y de amplificar las vibraciones de luz para poder escuchar las conversaciones.

Para experimentar con este tipo de radiación utilizaremos un puntero láser empleado normalmente como indicador en presentaciones, conferencias, etc. La longitud de onda de la luz generada por estos dispositivos es de 660 nanómetros aproximadamente, que corresponde a una frecuencia de 4.500.000 GHz ó 4.500 THz. Esta radiación de frecuencia extremadamente alta puede ser modulada con una señal externa para transmitir información como cualquier otra señal de radio.

En nuestro caso lo utilizaremos para transmitir una señal de audio generada por las vibraciones del cristal de la habitación a la que se le realiza la escucha. En los siguientes puntos se describirán los circuitos utilizados.

### 4.1 Transmisión:

Para generar el haz de luz láser utilizaremos un puntero láser que se puede adquirir fácilmente en los comercios. Este tipo de puntero se alimenta con dos pilas o baterías del tipo AAA, con lo que la tensión de alimentación es de 3V. Pero nosotros lo manipularemos para poder conectarlo a una placa realizada por nosotros.

La placa transmisora contará solamente con la alimentación y resistencias necesarias para que el láser no trabaje por encima de sus posibilidades. La tensión de alimentación es de 5V y el laser funciona a 2V.

### 4.2 Receptor:

Este láser acabará incidiendo en un receptor, es decir, un fototransistor. Anteriormente probamos también utilizando otro tipo de receptor, un LDR, pero éste presentaba un gran inconveniente y es que le influye la luz de los tubos fluorescentes del sitio donde estuviéramos.

Este problema ocurre también con el fototransistor, pero con mucha menos intensidad y al cual le hemos encontrado una solución, incorporar un tubo que aísla de la luz ambiente.



Fig. Efecto de los tubos fluorescentes 50Hz.

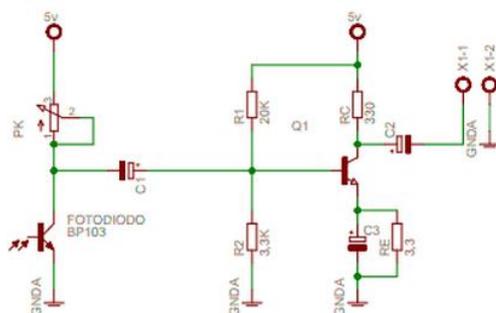
La señal recogida por el fototransistor es llevada a otra placa en la cual se encuentra un pequeño amplificador realizado con un transistor (2n2222). Este amplificador aumenta la señal y la lleva a un conector jack en el que podemos conectar un altavoz o unos auriculares para que se produzca la escucha del interior de la habitación. Antes de llevarlo al altavoz será necesario filtrar la señal mediante un condensador.



En las fotos anteriores se muestran el receptor y el emisor donde se ve como incide el laser en la ventana para reflejarlo hasta el receptor y captar las vibraciones.

### 4.3 Prototipo.

En las siguientes imágenes aparecen el esquema que utilizamos para el receptor y la PCB diseñadas. El diseño se basó en intentar utilizar el menor número de componentes y que el sistema mantenga buenas prestaciones.

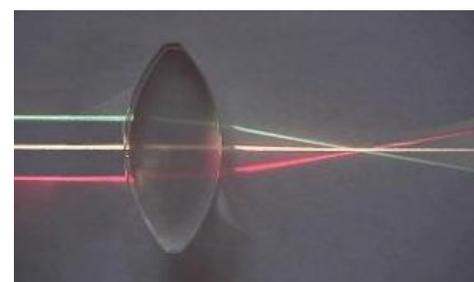


Las imágenes presentan un potenciómetro para el ajuste de la sensibilidad y los condensadores de filtrado, al igual que el transistor para amplificar la señal.

## 5 Transmisión de datos a larga distancia con aplicación militar.

Los sistemas de transmisión de datos vía láser presentan ciertas ventajas en comparación con los otros sistemas utilizados para la transmisión de datos, como el hecho de no necesitar licencias, no congestionar el espectro electromagnético, su inmunidad a interferencias eléctricas y electromagnéticas, su fácil instalación y su alto ancho de banda hacen de esta solución una de las mejores para comunicaciones a largo alcance.

A grandes distancias se requiere que el sistema mecánico de apuntamiento sea muy preciso ya que a gran distancia, pequeños ángulos de desviación en el transmisor ocasionan grandes variaciones en la alimentación con el receptor. Pero este problema se puede solucionar ampliando el área del sistema receptor. En nuestro caso se ha ampliado



utilizando una cúpula de plástico que recoge el haz del LASER y de esta forma no es necesaria tanta precisión.

Se realizará el diseño de un emisor y un receptor que será el encargado de enviar y recibir respectivamente la información rebotando en unos espejos dispuestos en UAVs que pueden variar de forma constante el haz del LASER con la inclinación de los espejos y así la transmisión sería imposible ser interceptada por terceras personas.

### 5.1 Transmisión:

Utilizaremos el puntero láser explicado anteriormente. La tensión de alimentación es de 3V. Este dispositivo lo incorporaremos a un sistema que modulará la luz del LASER en función de la señal a transmitir (modulación AM).

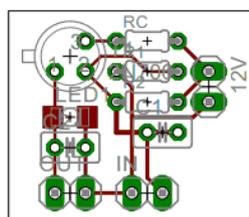


### 5.2 Receptor:

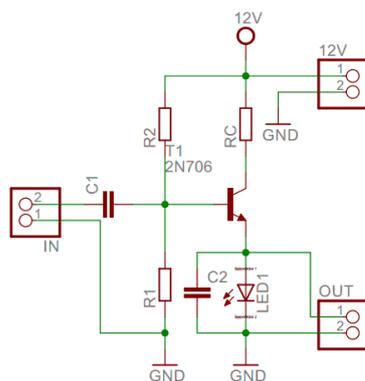
De nuevo, usaremos el receptor explicado en el apartado anterior, pero ahora se puede conectar a nuestro PC o altavoz y donde podemos recibir la información enviada por el transmisor.

### 5.3 Prototipo.

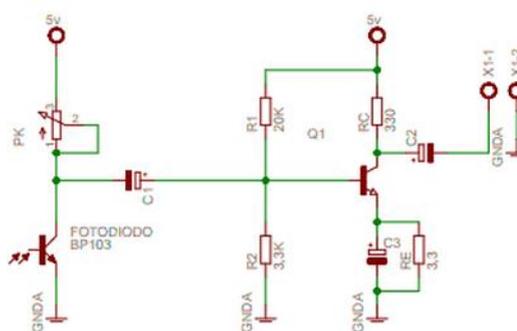
Los siguientes esquemas corresponden al emisor y receptor del sistema para la transmisión de datos.



PCB Emisor LASER.

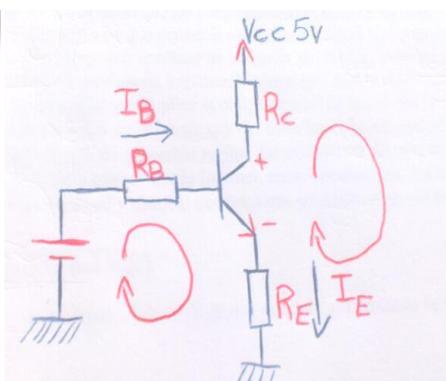
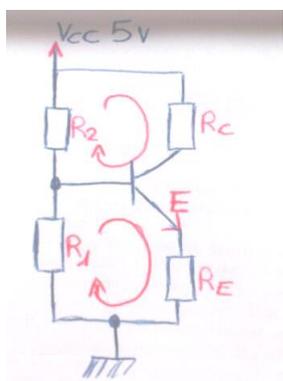


Emisor LASER.



Receptor LASER.

Los cálculos necesarios para obtener los valores de las resistencias serán:



$$I_{CQ} = 20\text{mA}$$

$$V_{CE,Q} = V_{CC} / 2 = 2,5\text{V}$$

$$V_{CC} = 5\text{V}$$

$$\beta = 293$$

$$I_B = 68,25 \mu A$$

$$R_B = R_1 \times R_2 / R_1 + R_2$$

$$V_B = V_{CC} \times R_1 / R_1 + R_2$$

$$V_B - V_{RE} = I_B \times R_B + I_E \times R_E$$

$$V_{CE} - V_{CC} = - I_E \times R_E - I_C \times R_C$$

$$R_2 \quad V_B = V_{CC} \times R_1 \times R_2 / R_1 + R_2$$

$$R_2 \quad V_B = V_{CC} \times R_B$$

$$R_2 = V_{CC} \times R_B / V_B = 2930 \Omega$$

$$R_1 = V_{CC} \times R_B / V_{CC} - V_B = 976,67 \Omega$$

$$V_{CE} - V_{CC} = - I_C \times 0,25 \times R_C - I_C \times R_C$$

$$V_{CE} - V_{CC} = (- I_C \times 0,25 - I_C) \times R_C$$

$$R_C = V_{CE} - V_{CC} / - (I_C \times 0,25 + I_C) = 100 \Omega$$

$$R_E = 1/4 \quad R_C = 25 \Omega$$

$$R_B = \beta \times R_E / 10 = 732,5 \Omega$$

$$I_B = I_C / \beta = 68,25 \mu A$$

$$V_B = R_B \times I_B + R_E \times I_E + V_{BE} = 1,25$$

$$V_{R2} = 4V$$

$$V_{RE} = 0,45V$$

$$V_{CE} = 3V$$

$$V_{CGND} = 3,47V$$

$$I_C = 16,8 \text{ mA}$$

## 6 Vibrómetro de bajo coste.

En la industria existe una serie de mantenimiento que se realiza a las máquinas rotativas y pueden ser de tipo preventivo o correctivo, dentro de un mantenimiento preventivo los parámetros vibratorios de las máquinas definen el estado de salud de la misma. Las fuentes más comunes de este fallo en los motores son el desequilibrio, resonancias y el desalineamiento, aunque en posteriores puntos se detalla la norma que rigen las averías.

El empleo de vibrómetros para saber el estado de salud de la máquina es una técnica muy utilizada en el mundo de la industria. El análisis de vibraciones en este tipo de máquinas conlleva un análisis de la señal para concretar el tipo de fallo en el motor: Análisis espectral, análisis de forma de onda, etc.

El sistema diseñado y propuesto en este trabajo realiza un análisis en la forma de onda, ya que de aquí se puede obtener los valores de la señal acorde a la norma ISO que regula dichas vibraciones. El diseño empleado es un trabajo de bajo coste y altas prestaciones.

### Sistemas de medidas

La medición de vibraciones es un parámetro fundamental en máquinas rotativas, cosa que no pasa en una máquina ideal. Sin embargo por las características inherentes de los materiales que constituyen un motor, éstos provocan vibraciones, de esta forma se puede afirmar que todos los motores poseen una serie de vibraciones.

Las vibraciones en una maquinaria se encuentran relacionadas de forma muy directa con su vida útil, cuanto menor sea el nivel de vibraciones, es un indicativo del correcto funcionamiento de la misma, por el contrario, un aumento de las vibraciones significa que la máquina posee alguna deficiencia, éste es un indicador de salud de la máquina, es capaz de juzgar las condiciones dinámicas de la misma.

Las averías más comunes en las máquinas rotativas debido a las vibraciones son: Desbalance, desalineación, excentricidad, holgura mecánica, etc.

El desequilibrio es uno de los motivos más graves de fallos en máquinas rotativas por la aparición de masas descompensadas en el rotor. Estos desequilibrios pueden provocar problemas de resonancia en la instalación y provocar graves averías en las máquinas.

Existen varias técnicas para medir vibraciones, casi todas estas técnicas son de contactos. Uno de los sistemas que no usan métodos de contacto, son los basados en el efecto Doppler, que se define como el cambio en la frecuencia, creado por la vibración de la superficie reflejada y que depende de la frecuencia de vibración. Además otras de las técnicas para la medición de estos fallos se basan en los sistemas inerciales.

Las vibraciones de las máquinas poseen una serie de parámetros que rigen el funcionamiento de la misma, estos parámetros tales como amplitud y frecuencia vienen determinados por la norma ISO 3945-1985:

FRECUENCIA	CAUSAS PROBABLES DE FALLAS
1xRPM	Desbalanceo, engranajes descentradas, desalineamiento, resonancia, problemas eléctricos.
2xRPM	Huelgos o juegos mecánicos, desalineamiento, fuerzas alternativas, resonancia.
3xRPM	Desalineamiento, combinación de huelgos mecánicos axiales excesivos con desalineamiento
< a 1x RPM	Remolino de aceite (oilwhirl) en cojinetes o rotores
Frec. De línea	Problemas eléctricos
Armónicas de RPM	Engranajes dañados, fuerzas aerodinámicas, fuerzas hidráulicas, huelgos o juegos mecánicos.
Alta frecuencia	Cojinetes antifricción en mal estado

Tabla 2: Frecuencias de vibración y origen probable de falla.

### Vibrómetros basados en sistemas inerciales.

Los acelerómetros son transductores que pertenecen a los sistemas inerciales. A partir de las medidas inerciales se puede determinar las aceleraciones lineales y de ahí las velocidades angulares. En la imagen, se muestra un acelerómetro comercial de tres ejes.



### Vibrómetros basados en el Efecto Doppler

Tracking Laser Doppler Vibrometry (TLDV) es una técnica de medida de vibración basadas en el efecto Doppler, se trata de un sistema de medida de velocidad relativa sin contacto. El emisor envía una señal que al rebotar en el elemento a medir modifica su frecuencia y el receptor recibe una señal con la frecuencia y amplitud que el motor posee gracias una pequeña pegatina reflectante.

## **6.1 Vibrómetros comerciales.**

Algunos de los vibrómetros comerciales que se pueden encontrar son:

1. Medidor de vibración TYP-63: Este vibrómetro sirve para comprobar máquinas rotativas. Este medidor de vibración mide la aceleración. El precio es de 500€ y mide un rango de frecuencias de hasta 1KHz.
2. Medidor de vibración TYP-VT300: Este vibrómetro comprueba las máquinas rotativas. Realiza las medidas de la aceleración. El precio es de 1100€ y mide un rango de frecuencias de hasta 10KHz.
3. PDV 100: Este vibrómetro realiza las medidas usando un láser, pero tiene un rango limitado de 30m y una frecuencia de 22KHz, teniendo un precio de 6000€.



Medidor 1



Medidor 2



Medidor 3

## 6.2 Transmisión:

El laser en este caso es el usado anteriormente con una tensión de alimentación de 3V.

## 6.3 Receptor:

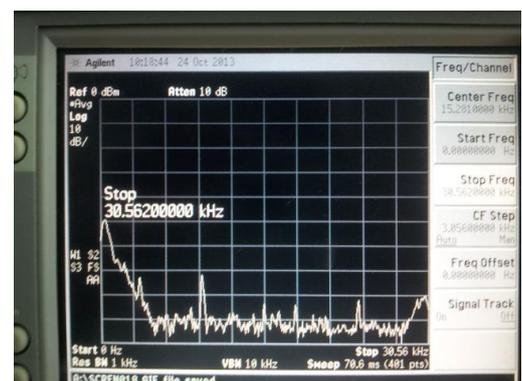
Igual que el en caso anterior, el receptor es el explicado en apartados anteriores. Ahora este amplificador aumenta la señal y la lleva a un conector que podemos conectar a nuestro osciloscopio o analizador de frecuencia y donde podemos recibir las vibraciones recogidas por el LASER.

En la foto se ve el receptor y el emisor apuntando con el laser en el motor y se refleja hasta el receptor que captará las vibraciones.



La siguiente imagen muestra la captura del osciloscopio que mide las vibraciones.

Las vibraciones del motor ascienden a 9KHz, si incorporamos un analizador de frecuencia se consiguen obtener los picos de las vibraciones. Esta imagen del analizador está tomada para un motor de industria, comprobando así el buen funcionamiento del sistema en entornos reales.

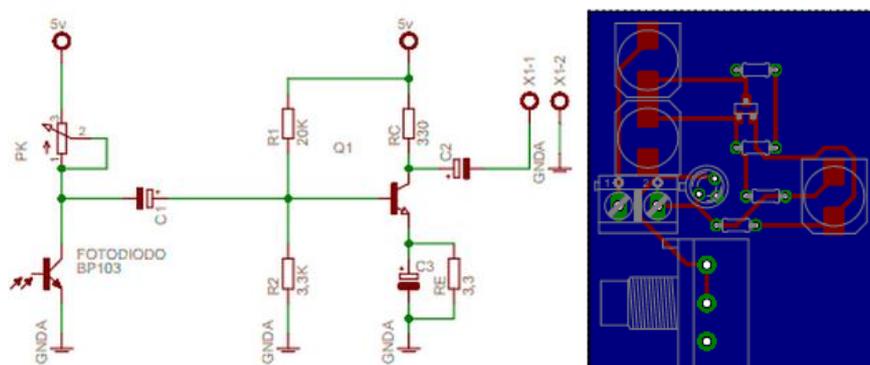


Las siguientes imágenes muestran un experimento realizado en el taller.



## 6.4 Prototipo.

El prototipo utilizado es el mismo receptor que en los puntos anteriores, comprobando la versatilidad de un mismo dispositivo para usarlo en diferentes aplicaciones.



## 7 Presupuesto.

Según los componentes utilizados para construir los prototipos, el coste del receptor y el emisor ascienden a 1.4€ y 2€ respectivamente.

Material	Precio Unitario	Unidades	Precio Total
Láser rojo	2 €	1	2 €
Fototransistor BPW40	0.5 €	1	0.5 €
Transistor 2n2222	0.4 €	2	0.8 €
Condensadores	0.3 €	4	1.2 €
Resistencias	0.1 €	8	0.8 €
<b>Total</b>			<b>5.3 €</b>

## 8 Conclusiones.

Se han conseguido alcanzar los objetivos planteados en este proyecto, ya que todos los diseños se han diseñado a bajo coste. En primer lugar, se ha diseñado un dispositivo emisor y receptor con el que podemos realizar la escucha de un habitáculo desde el exterior, haciendo uso de

las propiedades de reflexión de los cristales por un precio menor de 3€. Este sistema lo pueden utilizar las fuerzas de seguridad o militares para seguridad.

Se ha conseguido transmitir información a larga distancia de forma que no sea posible la interceptación de las comunicaciones por terceros, sin necesidad de encriptación de los datos. Este método es muy útil para su uso militar, puesto que haciendo uso de UAVs y unos espejos podemos ir cambiando el camino que toma la luz LASER hasta llegar al receptor, además de usar la gran capacidad que tiene el láser para transmitir información. El diseño del emisor y receptor tiene un coste de 5€.

Además se ha utilizado la propiedad del láser para diseñar un receptor capaz de medir las vibraciones de las diferentes maquinarias a través de la reflexión, donde se pueden diagnosticar futuras averías o mal funcionamiento de maquinarias. La principal ventaja es que el coste del receptor es de 3€ y los elementos comerciales tiene un coste de 6000€, además otra ventaja es que sólo se necesita una pegatina reflectante pegada en el dispositivo a medir, por lo que se pueden medir vibraciones en maquinarias pequeñas. Otra ventaja es que en maquinarias pequeñas no se deforman las medidas por el peso de la pegatina. Otros sistemas requieren pegar un acelerómetro en la maquinaria por lo que podrían modificar las medidas. Nuestro sistema al usar un LASER puede ser utilizado en zonas peligrosas de radiación, zonas químicas y con altas temperaturas, ya que las medidas se toman a través de un cristal.

Un problema que presenta el uso del LASER es la necesidad del buen apuntamiento que necesita para su funcionamiento, pero este problema lo hemos solucionados al aumentar la superficie de recepción del fototransistor, para ello se ha incorporado una cúpula de plástico por la cual se dirige la luz del LASER y se aumenta la superficie de recepción evitando dicho problema.

Otra ventaja de este proyecto es que con un solo receptor es posible realizar las tres aplicaciones, sin necesidad de rediseñar el sistema para otros fines.

## 9 Bibliografía.

- [1]. <http://www.monografias.com/trabajos/laser/laser.shtml>
- [2]. <http://www.wordreference.com/definicion/%C3%A1ser>
- [3]. <http://www.alegsa.com.ar/Dic/laser.php>
- [4]. <http://www.ojocientifico.com/2011/02/08/como-funciona-un-laser>
- [5]. <http://www.portalplanetasedna.com.ar/laser.htm>
- [6]. [http://clpu.es/documentospublicos/OSA%2004\\_.pdf](http://clpu.es/documentospublicos/OSA%2004_.pdf)
- [7]. <http://www.um.es/leq/laser/Ch-6/F6s1t2p1.htm>
- [8]. <http://oftalmonoticias.blogspot.com.es/2013/02/laseres-de-rubi-neodimio-y-nd-yag.html>
- [9]. <http://es.wikipedia.org/wiki/Fotorresistencia>
- [10]. [http://martinezmorenomedicionesind.blogspot.com.es/2007/06/fotorresistencia-ldr\\_16.html](http://martinezmorenomedicionesind.blogspot.com.es/2007/06/fotorresistencia-ldr_16.html)
- [11]. <http://www.apuntesdeelectronica.com/componentes/ldr-fotorresistencias.htm>
- [12]. <http://platea.pntic.mec.es/~lmarti2/circuitos/celsolar/ldr.htm>
- [13]. <http://www.neoteo.com/ldr-fotorresistencias/>
- [14]. [http://www.unicrom.com/Tut\\_fotodiodo.asp](http://www.unicrom.com/Tut_fotodiodo.asp)
- [15]. <http://sensorfototransistorofotodiodo.blogspot.com.es/2008/03/el-fotodiodo-el-fotodiodo-se-parece.html>
- [16]. <http://www.slideshare.net/joselin33/fotodiodos>
- [17]. <http://es.answers.yahoo.com/question/index?qid=20130205185954AAUgGUr>
- [18]. [http://es.wikipedia.org/wiki/Fotodiodo\\_de\\_avalancha](http://es.wikipedia.org/wiki/Fotodiodo_de_avalancha)
- [19]. [http://es.wikipedia.org/wiki/Diodo\\_Schottky](http://es.wikipedia.org/wiki/Diodo_Schottky)
- [20]. [http://es.wikipedia.org/wiki/Diodo\\_PIN](http://es.wikipedia.org/wiki/Diodo_PIN)
- [21]. <http://es.wikipedia.org/wiki/Fotodiodo>
- [22]. <http://es.wikipedia.org/wiki/Fototransistor>
- [23]. [http://www.itlalaguna.edu.mx/Academico/Carreras/electronica/opteca/OPTOPDF2\\_archivos/UNIDAD2\\_TEMA4.PDF](http://www.itlalaguna.edu.mx/Academico/Carreras/electronica/opteca/OPTOPDF2_archivos/UNIDAD2_TEMA4.PDF)
- [24]. <http://www.ecured.cu/index.php/Fototransistor>