



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

“DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y ANÁLISIS DE UN  
SISTEMA DE TRANSMISIÓN VÍA LÁSER, DE UN  
CANAL DE AUDIO EN ESPACIOS ABIERTOS Y A UNA  
DISTANCIA DE HASTA 40 METROS”

**INFORME DE MATERIA INTEGRADORA**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

ADRIANA PAMELA JIMENEZ AVILES  
SALVADOR ENRIQUE VALLEJO VALAREZO

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2017

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco en primer lugar a Dios que, sin él, nada de esto sería posible.

A mi Tutor Ing. César Yépez por la guía y paciencia a lo largo de este proceso integrador.

A todos y cada uno de mis hermanos que de distintas formas fueron parte del proceso para ser quien soy, Roberto por su guía y amor, Alberto que a lo largo de la preparación de este documento y en general a lo largo de toda mi vida estuvo y estoy segura que estará incondicionalmente para mí, sin importar la hora y lugar, Verónica que gracias a su valiosa ayuda me proveía de algo incalculable, TIEMPO, Víctor por su fortaleza, Sara que siempre me alentó a terminar lo que alguna vez empecé, Teresa que tuvo fe en mí y aunque no esté cerca, siempre la tengo presente, Eliana a quien la considero como mi segunda madre y José Luis que cada vez que lo necesito está ahí para ayudarme.

Y finalmente a mi querido y amado Gabriel PARRALES, que es mi soporte y fortaleza, que con sus actos más que con palabras me dio la tranquilidad y seguridad para luchar por mis sueños.

Mi lista es infinita, pero a todos y a cada uno que estuvieron y están conmigo siempre, muchas gracias.

**Adriana Jiménez Avilés**

Mis agradecimientos al Ing. César Yépez por todas las horas de clases que tuve la suerte de recibir, por sus consejos y su guía a la hora de enseñarme el camino.

A mi familia que supo apoyarme con sus muestras de paciencia y cariño.

A mis compañeros politécnicos, a los estudiantes y profesores que siempre estuvieron dispuestos a ayudarme.

**Salvador Vallejo Valarezo**

## DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a tres mujeres muy importantes para mí.

A mi madre que no solo me dio la vida, sino que, gracias a su constante lucha por darnos un mejor porvenir, me regalo estas ganas enormes por superarme cada día, el gusto por el trabajo responsable y tratar cada despertar ser una mejor persona.

A mi primogénita María Gabriela, que marcó un antes y un después en mi vida, que me hizo comprender ese amor incondicional que solo una madre puede sentir.

Y finalmente a mi pequeña María José, que después de muchos años, me hizo revivir estas ganas enormes de seguir adelante.

Mi madre me dio la vida, y mis hijas le dieron un significado incalculable a la misma, para ellas le dedico este trabajo.

**Adriana Jiménez Avilés**

Dedico el presente trabajo a mi madre Alba y a mi esposa Kelly, que aparte de mi familia son mis amigas y sobre todo son los dos luceros que guían mi vida y me llevan a buen puerto en medio de las tempestades.

Con todo mi afecto.

**Salvador Vallejo Valarezo**

## TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

---

**Ing. César Yépez**

PROFESOR EVALUADOR

---

**Ing. Félix Moncayo**

PROFESOR EVALUADOR

## DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

.....  
Adriana Jiménez

.....  
Salvador Vallejo

## RESUMEN

En este documento se presenta otra alternativa para la comunicación a distancias cortas sin la necesidad de utilizar elementos físicos como medio de transmisión de la información y diferente a los medios inalámbricos conocidos tales como el wifi y Bluetooth.

El proyecto consiste en transmitir audio por medio de la luz coherente, que produce el láser a una distancia de 40 metros en espacios abiertos.

Se utilizó dos arduinos para materializar la propuesta de transmitir audio por medio de láser, debido a que es una plataforma de código abierto, basada en hardware y software flexibles y de uso amigable.

La señal transmitida por medio del láser esta modulada en PWM, la cual es propia de los módulos arduino Mega 2560 que son parte principal del transmisor y receptor.

Por medio de este diseño, se pudo transmitir audio hasta una distancia de 150 metros, lo cual supera los objetivos planteados de este documento.

También se pudo comprobar, que la atenuación que presenta el enlace, no perjudica la transmisión de la señal de audio hasta una distancia de 80 metros sin embargo por pruebas de audición se pudo verificar que llega la señal hasta los 150 metros mencionados anteriormente.

A pesar que la atenuación es aceptable, la desventaja que presenta este enlace, es que debe existir línea de vista permanente para que llegue la señal, en el momento que un objeto se interponga entre el láser y el receptor se corta la recepción.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO .....	II
DEDICATORIA .....	III
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN .....	IV
DECLARACIÓN EXPRESA.....	V
RESUMEN.....	VI
CAPÍTULO 1.....	1
1. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Descripción del problema. ....	1
1.2 Justificativo. ....	1
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 General. ....	2
1.3.2 Específicos.....	2
1.4 Metodología.....	2
1.5 Resultados Esperados.....	3
1.6 Elementos Diferenciadores.....	3
CAPÍTULO 2.....	4
2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Conceptos básicos sobre el láser.....	4
2.2 Conceptos básicos de FSO. ....	8
2.3 Conceptos básicos de modulación y demodulación de una señal... 10	
2.4 Parámetros de control de calidad de la señal.....	15
CAPÍTULO 3.....	17
3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CANAL DE TRANSMISIÓN DE AUDIO POR MEDIO DE UN HAZ DE LUZ LÁSER EN ESPACIOS	

ABIERTOS.....	17
3.1    Diseño e implementación del enlace por láser. ....	17
3.2    Diseño e implementación de la modulación y demodulación de la señal .....	26
CAPÍTULO 4.....	31
4. RESULTADOS ESPERADOS. ....	31
4.1    Análisis de los parámetros de control de calidad de la señal. ....	31
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	37
BIBLIOGRAFÍA.....	39
ANEXOS.....	40



# CAPÍTULO 1

## 1. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.

### 1.1 Descripción del problema.

En la actualidad la necesidad de estar comunicado nos impulsa a buscar otras formas de conectarnos, gracias a esta constante evolución ahora tenemos las conexiones a través de enlaces punto a punto, pero para realizar esta conexión existen algunos factores importantes que debemos tener presente, tales como:

- Los permisos para el uso del espectro.
- La segunda zona de Fresnel libre.
- Limitación del ancho de banda.
- Costos elevados en la implementación.
- Línea de vista.

Con estos antecedentes, se analiza usar el mismo medio de transmisión “aire” pero utilizando un haz de luz láser, el cual no necesita permisos de operación, ni la zona de Fresnel libre, no tenemos las mismas limitaciones en el ancho de banda.

### 1.2 Justificativo.

El uso de un Radioenlace para la conexión entre dos puntos, permite eliminar la necesidad de implementar una solución de cableado, evitándose con ello los costos, así como también evitar áreas de difícil acceso.

Al ser el láser un medio que soporta altas frecuencias de transmisión, permitirá un flujo elevado de emisión de información, se convierte en una opción válida a la hora de implementar un sistema de comunicación como la que existe por medio de fibra óptica.

Dadas las características anteriores de las dos formas de transmisión de datos se busca la armonía, al unir ambas cualidades como es la conexión inalámbrica del radioenlace y el alto flujo de información, como la que brinda la comunicación por

medio de la fibra óptica, por lo cual se plantea la utilización del láser como mecanismo de conexión inalámbrica donde elimina el costo con respecto al tendido de fibra de óptica y soportar un mayor ancho de banda con respecto a un radioenlace.

### 1.3 Objetivos.

- **General.**

El objetivo principal de esta tesis es diseñar, implementar y analizar un sistema de transmisión vía láser, de un canal de audio en espacios abiertos y a una distancia de hasta 40 metros.

- **Específicos.**

- Diseñar el acoplamiento de los módulos necesarios para la transmisión y recepción de la señal a ser enviada por medio del rayo-enlace.
- Implementación de los sistemas de transmisión y recepción.
- Analizar el Rayo-enlace bajo parámetros de control de calidad de la señal.

### 1.4 Metodología.

Para desarrollar el presente documento se siguieron los pasos a continuación expresados:

- Investigar conceptos básicos sobre elementos a intervenir para poder elegir la mejor opción.
- Diseñar la transmisión y recepción para enviar audio, por medio de un haz de luz láser.
- Implementar el diseño de transmisión y recepción.
- Buscar una modulación acorde al diseño propuesto de transmisión y recepción.
- Realizar las pruebas de control del diseño para mostrar su funcionamiento y calidad.
- Realizar las conclusiones y recomendaciones sobre el proyecto realizado.

### **1.5 Resultados Esperados.**

Encontrar los dispositivos tecnológicos para levantar un Rayo-Enlace.

Realizar la demodulación de la señal para obtener la mejor fidelidad con respecto al audio.

Transmitir una señal de audio a una distancia de hasta 40 metros.

### **1.6 Elementos Diferenciadores.**

La parte innovadora del sistema propuesto, es el uso de un emisor-receptor láser no guiado, teniendo como medio de transmisión el aire.

El sistema propuesto se podría utilizar para comunicar edificios del campus de ESPOL, de una manera rápida y sencilla, así como de bajo costo.

Al soportar el láser gran cantidad de datos, se podrá implementar en el futuro, enlaces con mayor cantidad de información.

## CAPÍTULO 2

### 2. MARCO TEÓRICO.

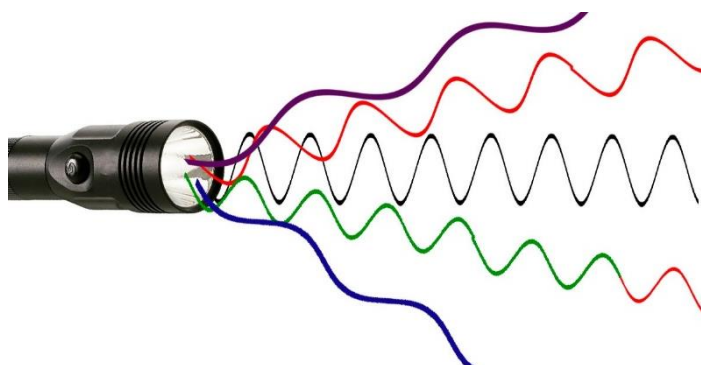
#### 2.1 Conceptos básicos sobre el láser.

##### 2.1.1 Qué es un Láser

La palabra láser es un acrónimo que significa “**L**ight **A**mplified by **S**timulated **E**mission of **R**adiation” [1] (Luz amplificada por emisión estimulada de radiación).

Existe diferencia entre la luz que emite una linterna, con respecto a la que emite el láser.

La linterna contiene diferentes longitudes de ondas, emitidas en muchas direcciones como se observa en la Figura 2.1



**Figura 2.1 Longitud de Ondas de linterna**

El láser genera ondas de luz con una única longitud de onda, que se encuentran en fase, y en la misma dirección, esto hace que el color del haz láser sea puro y extremadamente intenso como se muestra en la Figura 2.2



**Figura 2.2 Ondas de un Laser**

La estimulación previa para generar la luz láser, permite obtener propiedades interesantes, como es, la alta potencia y su capacidad para ser amplificada, la direccionalidad, la frecuencia de emisión, la capacidad de emitirse en pulsos de muy corta duración, y ser una onda coherente.

### 2.1.2 Estructura básica de un diodo láser.

Existen distintos tipos de láser, pero en todos, el mecanismo es básicamente el mismo. Tendrá dos espejos, uno parcialmente reflectante y otro totalmente reflectante, un elemento activo y un elemento estimulador.

El primer láser se construye con dos espejos, un tubo destello de xenón (Elemento estimulador) y una varilla de rubí (Elemento Activo).

La luz intensa que genera el tubo de destello de Xenón excita los electrones de los átomos del rubí haciendo que los electrones suben a niveles de energía superiores y a medida que los electrones caen aleatoriamente a un nivel de energía más bajos, se emiten partículas de luz llamados fotones, cuando los fotones de los átomos del rubí inciden sobre otros átomos excitados, provoca la emisión de nuevos fotones idénticos al primero, la luz láser se amplifica, a medida que un número cada vez mayor de fotones, se desplaza de un espejo a otro, hasta que llega un momento que parte de la luz sale del tubo a través de uno de los espejos que sólo es parcialmente reflectante, ese es el haz luminoso que vemos, al cual denominamos Láser. Figura 2.3

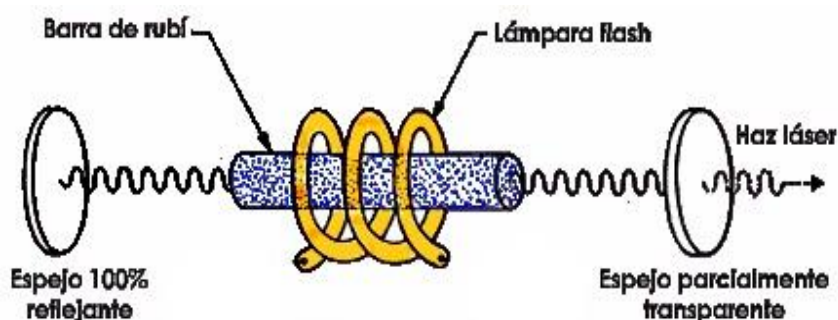


Figura 2.3 Generación de emisión láser

### 2.1.3 Tipos de Láser

Existe una gran variedad de Láseres, éstos se pueden agrupar de diferentes maneras: por la longitud de onda, por la potencia emitida o por el medio que las genera.

Cada una de ellas tiene sus propios usos o propósitos, así como también tienen diferentes subdivisiones.

La gran diversidad en los modelos y usos, hacen que existan muchas maneras de clasificarlos o agruparlos. Cualquiera de las clasificaciones tendrá su uso y aplicación, pero para el presente proyecto se toma en consideración como parte más importante de los Láseres o como forma más eficiente de clasificarlos el medio activo que permite la emisión de la luz excitada.

Por consiguiente, se divide en 3 grandes familias a pesar de que no son las únicas ya que dada la versatilidad de los Láseres incluso así algunos modelos se escapan a esta clasificación. Estas familias son las de los sólidos, semiconductor y gaseosos.

- **Láser de Estado sólido**

Son aquellos cuyo medio activo es un sólido, este sólido deberá tener como característica la presencia de iones libres. Este medio sólido suele ser vidrio o cristal, cuyas características son las responsables de la emisión láser.

- **Láser de gas**

Son aquellos que utilizan como medio activo una combinación de gases, es usual que en una pequeña parte del gas se produzca la excitación de los iones, y la forma más común de excitarlos es por medio de una descarga eléctrica.

- **Láser de semiconductores**

La característica de este tipo de Láseres es que son basados en semiconductores, en los cuales tendremos como estructura básica

la presencia de materiales tipo n y materiales tipo p, el funcionamiento es el mismo que se esperaría para un diodo, al producirse la presencia de una variación de potencial en los extremos de los terminales se produce una avalancha de átomos o de huecos según sea el caso del material tipo n o de tipo p, con la cual se tendrá la emisión de luz láser esperada.

Las ventajas fundamentales de esta familia son:

- Tamaño pequeño.
- Diferencia de Potenciales de bajo nivel.
- Costo de los materiales comparativamente más bajo que otros medios activos.

Existen varias maneras de generar los diferentes tipos de Láseres, las descritas son solo algunas de ellas, y de las cuales hay una gran cantidad de sub-variantes según sean los materiales del medio activo.

#### 2.1.4 Clases de Láseres

El Comité ANSI z136 es el responsable de la elaboración de las reglamentaciones sobre el láser.

Para su uso se emplea un parámetro llamado **AEL** es decir *Accessible Emission Limit*, el límite de emisión accesible, este parámetro es el resultado del producto de dos factores:

**MPE** - Maximum Permissible Exposure limit.

**LA** - Limitation Aperture.

El AEL permite la formación de una clasificación según el ANSI de 5 categorías [2]:

- Láseres Clase 1.
- Láseres Clase 2.
- Láseres Clase 3a.
- Láseres Clase 3b.

- Láseres Clase 4.

Este Comité se encuentra aun estudiando la implementación de estas normas en base a la norma IEC la misma que estipula que todo láser fabricado luego de agosto de 1976 deberá estar dentro de una de las siguientes categorías:

- Producto láser Clase I.
- Producto láser Clase II.
- Producto láser Clase IIIa.
- Producto láser Clase IIIb.
- Producto láser Clase IV.

Se debe tener en cuenta que el estándar de la norma FDA/CDRH LPP está en proceso de revisión y se propone la adopción del esquema de clasificación Norma IEC [3].

- Láseres Clase 1
- Láseres Clase 1M
- Láseres Clase 2
- Láseres Clase 2M
- Láseres Clase 3R
- Láseres Clase 3B
- Láseres Clase 4

## **2.2 Conceptos básicos de FSO.**

### **2.2.1 ¿Qué es FSO?**

El FSO (Free Space Optical), Óptica en espacio libre es una tecnología que permite utilizar la luz como medio de transmisión de manera inalámbrica. A pesar de que la comunicación por luz es antigua, no ha sido considerada como alternativa de comunicación por mucho tiempo.

En este proyecto se enfoca la comunicación por medio de la luz láser la cual permite transmitir gran cantidad de información y a altas velocidades sin la necesidad de utilizar la fibra óptica.



### 2.2.2 Funcionamiento del FSO (Láser)

El FSO utilizando láser es muy similar en su funcionamiento y operación a la comunicación por fibra óptica con la única diferencia que el medio de transmisión empleado es el aire. De esta característica surgen otras diferencias que tienen que ver con el medio, las cuales son:

- A diferencia de la fibra óptica que es un medio guiado, en el aire tendremos la necesidad de ponerlos en línea directa o línea de vista al emisor con el receptor.
- Al trabajar el láser a una frecuencia del espectro no regulada, no se necesita de permisos especiales para habilitar el rayo enlace.
- No necesita cumplir zonas de Fresnel, pues el frente de transmisión es esencialmente lineal.
- Por ser el aire su medio de transmisión estará sujeto a las inclemencias del tiempo, sufriendo mayores atenuaciones en casos de lluvia, garúa, neblina, etc. [2].
- El costo de instalación en comparación con el de la fibra óptica es significativamente menor.
- Es compatible a las topologías LAN y WAN existentes, así como a los equipos usualmente utilizados en las mismas.
- La fibra óptica puede ser encriptado sin que se vea perjudicada su tasa de transferencia.
- Al igual que los medios inalámbricos tradicionales se atenúa la señal con la distancia. Esto es debido a la forma de construcción de las lentes, siempre existirá una pequeña concavidad que hará que el haz diverja ligeramente.

Haciendo un resumen en la siguiente Tabla 1 podemos apreciar las diferencias [5]:

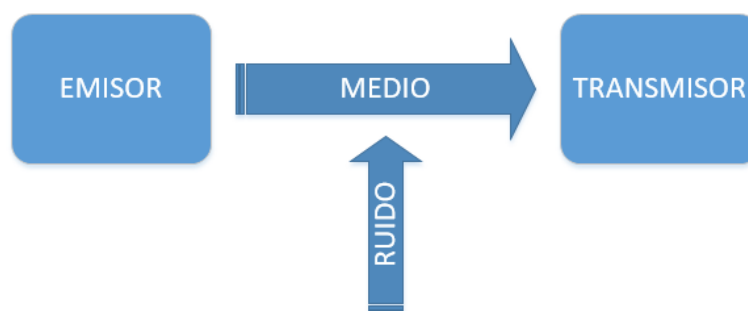
	FO	Inalámbrico	FSO
<b>Guía de onda</b>	Si	No	No
<b>Permisos para instalación</b>	Si	Si	No
<b>Zona de Fresnel</b>	No	Si	No
<b>Atenuación</b>	Si	Si	Si
<b>Costo instalación</b>	Alto	Bajo	Bajo
	Si	Si	Si
<b>Facilidad de Encriptación</b>	Si	No	Si
<b>Ancho de banda</b>	1Gbit	70Mbits (Wimax)	175Mbits
<b>Distancia</b>	20Km	50 Km	428

**Tabla 1: Tabla de Resumen**

### 2.3 Conceptos básicos de modulación y demodulación de una señal.

Para que exista comunicación necesitamos 3 elementos importantes.

Un transmisor, un medio y un receptor Figura 2.5.



**Figura 2.5: Esquema del sistema**

Analizando la transmisión, existen procedimientos previos que debe sufrir la información para poder ser transmitida. Uno de estos procedimientos es la modulación.

La modulación permite enviar la información lo más veraz posible dependiendo del tipo de modulación que escojamos.

Según la American National Standard for Telecommunications, la modulación es el proceso, o el resultado del proceso, de variar una característica de una onda portadora de acuerdo con una señal que transporta información. El propósito de la modulación es sobreponer señales en las ondas portadoras. [3]

Por otro lado, la demodulación es el proceso inverso a la modulación que nos permite recuperar la información recibida.

El medio puede ser Guiado y No guiado.

Los medios guiados son los que necesitan de un elemento físico para que el mensaje se transporte desde el transmisor al receptor, como por ejemplo el cable de cobre entre otros.

Por otro lado, los medios no guiados no necesitan de un elemento físico para que los mensajes se transmitan y lo realizan de manera inalámbrica.

### 2.3.1 Tipo de Modulación

Existen dos tipos de modulaciones, la modulación analógica y la modulación digital.

Dentro de estas modulaciones dependiendo de la variación de parámetros que sufre la portadora se subdividen de la siguiente manera Tabla 2:

Parámetro a variar	Analógica	Digital
Variando amplitud	AM	ASK
Variando frecuencia	FM	FSK
Variando fase	PM	PSK

**Tabla 2: Tipos de modulación.**

También existen otros tipos de modulaciones las cuales dependen de los parámetros sobre los que se actúan como, por ejemplo:

Modulación en doble banda lateral (DSB)

Modulación banda lateral única (SSB, o BLU)

Modulación de banda lateral vestigial (VSB, VSB-AM, o BLV)

Modulación de amplitud en cuadratura (QAM)

Modulación por división ortogonal de frecuencia (OFDM), también conocida como 'Modulación por multitono discreto' (DMT)

Modulación de Espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS)

Modulación por longitud de onda

Modulación en anillo

### 2.3.2 Modulación AM y FM

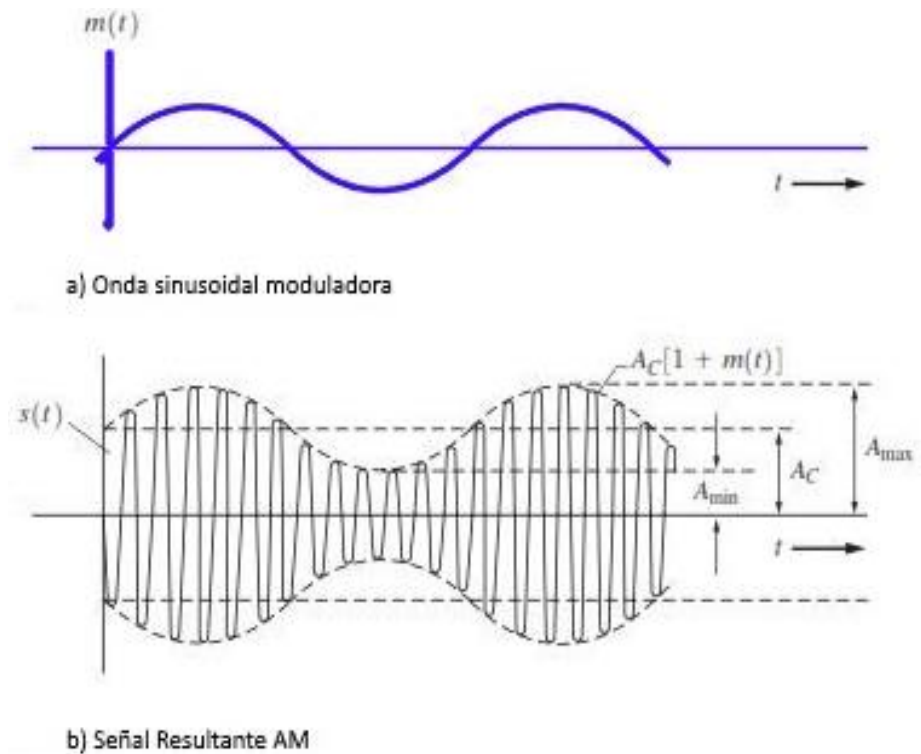
La modulación AM o Amplitud Modulada permite modificar la amplitud de la señal portadora con respecto a la señal mensaje. Donde la envolvente de esta onda viene dada por la siguiente ecuación 2.1:

$$g(t) = A_c [1 + m(t)] \quad (2.1)$$

Donde la  $A_c$  es el nivel de potencia de la señal y  $m(t)$  es la señal modulada. Esta señal es la forma simplificada de ecuación 2.2:

$$s(t) = A_c [1 + m(t)] \cos \omega_c t \quad (2.2)$$

En la figura 2.6 podremos observar la modulación AM observada desde un osciloscopio [4]



**Figura 2.6: Modulación AM**

La modulación FM o Frecuencia Modulada este tipo de modulación permite modificar la frecuencia de la señal portadora con respecto a la señal mensaje.

La señal se puede expresar con la siguiente ecuación 2.3:

$$x_{FM}(t) = A_c \cos \left[ 2\pi f_c t + \frac{f_{\Delta} A_m}{f_m} \right] \sin(2\pi f_m t) \quad (2.3)$$

Donde

$\theta(t)$  = fase instantánea

$f_c$  = frecuencia de portadora

$f_{\Delta}$  = constante de desviación de frecuencia

$f_m$  = frecuencia moduladora

$\beta$  = índice de modulación FM =  $\frac{f_{\Delta} A_m}{f_m}$

La frecuencia de la señal FM puede expresarse como la ecuación 2.4:

$$f = \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} \theta(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} [2\pi f_c t + \beta \sin(2\pi f_m t)] \quad (2.4)$$

$$f = f_c - f_m \beta \cos(2\pi f_m t) \quad (2.5)$$

A partir de la ecuación 2.5 anterior podemos encontrar que la frecuencia instantánea de la señal modulada en FM es resultado de la desviación de la frecuencia central de portadora  $f_c$  cuando se producen variaciones en la amplitud de la señal moduladora o mensaje. [4]

En la figura 2.7 podemos observar la modulación FM

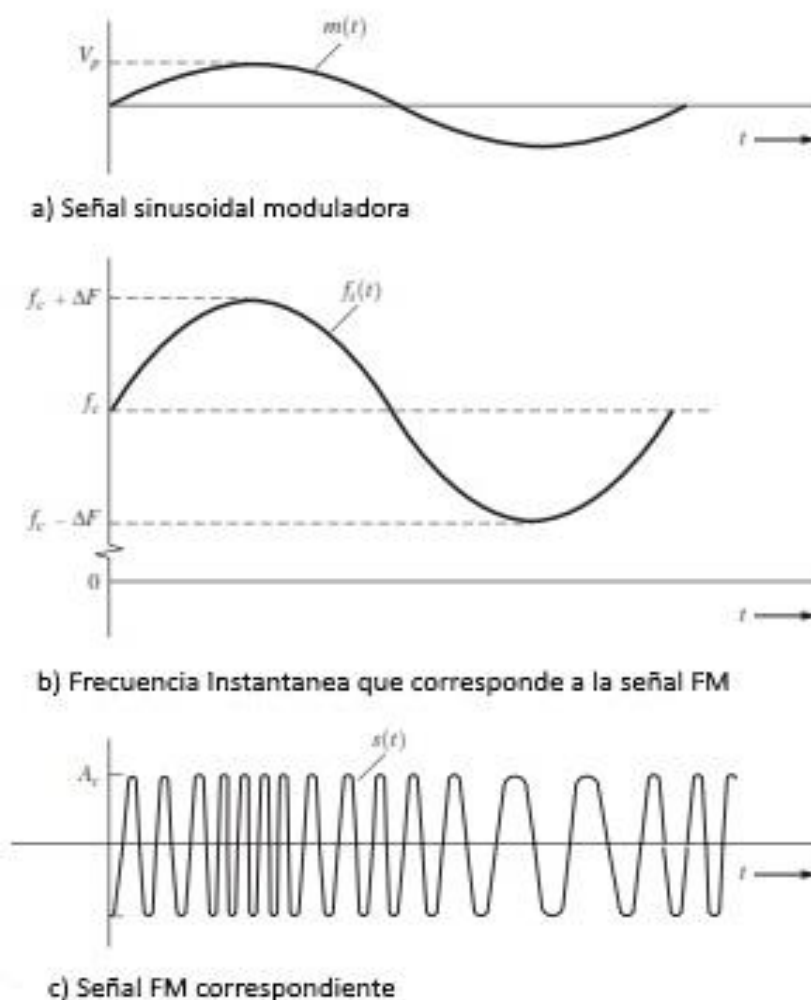


Figura 2.7: Modulación FM

## **2.4 Parámetros de control de calidad de la señal.**

Para el control de calidad del rayo enlace se establecieron varios parámetros de control, esto es para poder contrastar la calidad de llegada del mensaje y si se puede tener un enlace estable.

### **2.4.1 Atenuación por diferentes medios de transmisión.**

Cada medio de transmisión es diferente y si es un rayo enlace estará sujeto a cambios de condiciones ambientales, para ello se implementó el control en diferentes medios y se observó su incidencia en los mismos.

Se usaron cuatro tipos de medios para transmitir: Aire libre, Vidrio limpio transparente, plástico limpio transparente y agua en forma de lluvia. Esto es para poder comprobar la factibilidad del rayo enlace en diferentes medios.

### **2.4.2 Atenuación por pérdidas de Potencia en aumento de distancia.**

En todo tipo de telecomunicación existe pérdidas, pero para saber qué efecto tiene sobre nuestro rayo enlace estas pérdidas deben ser cuantificadas con respecto a la potencia recibida de la señal.

### **2.4.3 Tasa de Error de recepción.**

Se analiza el error recepción por pérdidas de símbolo en una transmisión, con la misma se evalúa las posibles pérdidas sin tener en cuenta la cantidad de data transmitida, ya que se mide el porcentaje de error o pérdidas de símbolo sobre el total de símbolos enviados.

### **2.4.4 Atenuación por dispersión del frente de la señal.**

Por la forma de construcción de todo laser, siempre hay una pequeña abertura del haz, por lo cual al aumentar la distancia la sombra proyectada va aumentando, es por ello que se midió dicha sombra con respecto a la distancia del enlace.

### **2.4.5 Atenuación por presencia de ruido SNR**

Este parámetro permite relacionar la señal mensaje con respecto al ruido

que se adquiere a lo largo del enlace.

Para considerar que el enlace no es afecto por el ruido esta relación debe superar lo 20dB.



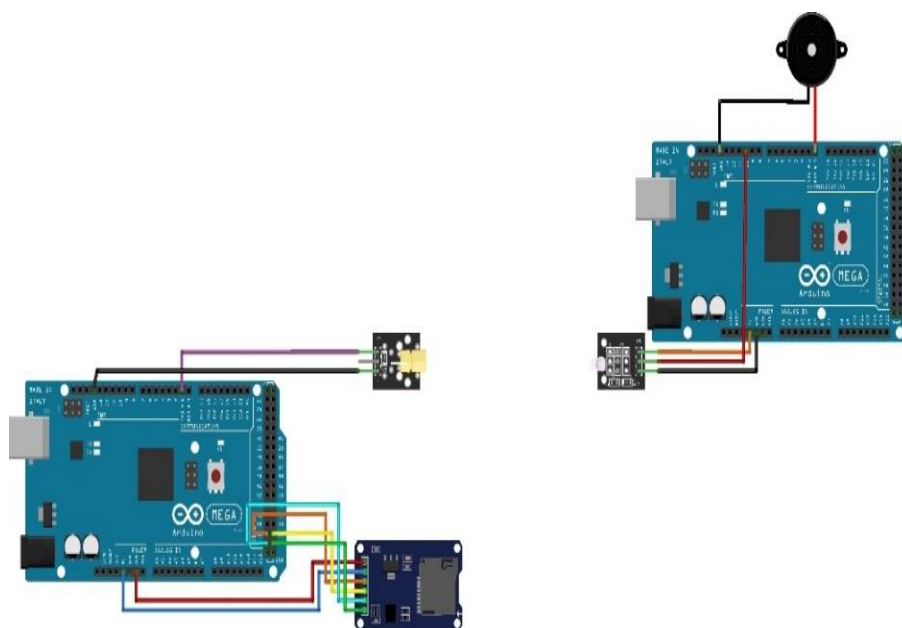
## CAPÍTULO 3

### 3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CANAL DE TRANSMISIÓN DE AUDIO POR MEDIO DE UN HAZ DE LUZ LÁSER EN ESPACIOS ABIERTOS.

#### 3.1 Diseño e implementación del enlace por láser.

Como parte del diseño se optó utilizar dos módulos (Arduino mega-2560), uno para la emisión y otro para la recepción debido a que es una plataforma de código abierto (open-source) basada en hardware y software flexibles y de uso amigable. [5]

- **Esquema de diseño.**



**Figura 3.1: Esquema de los sistemas**

Como se puede apreciar en la Figura 3.1 el diseño está conformado por el transmisor y receptor, ambos sistemas utilizan el módulo Arduino mega-2560 como parte principal de cada una de ellas.

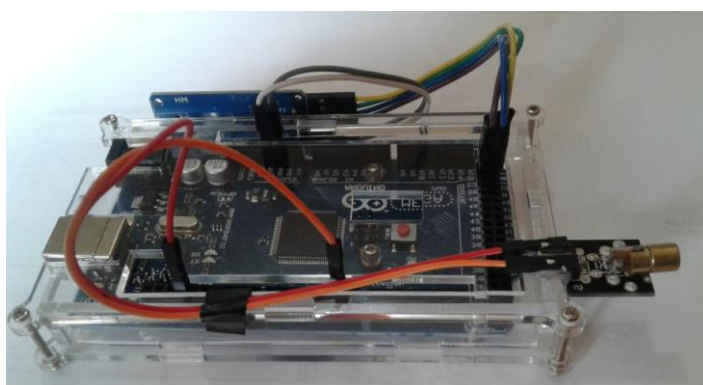
A continuación, los costos de implementación del sistema Tabla 3

Ítem	Descripción	Costo Unitario	Costo total
2	Trípode	\$40,00	\$80,00
2	Arduino Mega 2560	\$25,00	\$50,00
2	Caja acrílico Arduino Mega 2560	\$6,00	\$12,00
1	Parlantes	\$10,00	\$10,00
1	Módulo Arduino lector microSD	\$3,00	\$3,00
1	Módulo Sensor LASER	\$2,70	\$2,70
1	Módulo Arduino LASER	\$2,50	\$2,50
11	Conectores	\$0,10	\$1,10
1	MicroSD	\$15,00	\$15,00
		Subtotal	\$176.30
		I.V.A. 12%	\$21.15
		<b>Total</b>	<b>\$197.45</b>

**Tabla 3: Costos de implementación**

- **Transmisor**

El transmisor se diseñó en base a un módulo Arduino Mega-2560, un módulo lector microSD y un módulo láser, Figura 3.2



**Figura 3.2: Etapa emisora.**

Para la programación del arduino utilizado como emisor, se basó en un

programa ejemplo disponible en arduino, de lector SD, llamado DumpFile. El cual se modificó para que permita leer varios contenidos de audio y se transmita por el puerto serial del arduino.

Para que el arduino pueda leer el archivo de audio, este debía tener un formato específico extensión .wav.

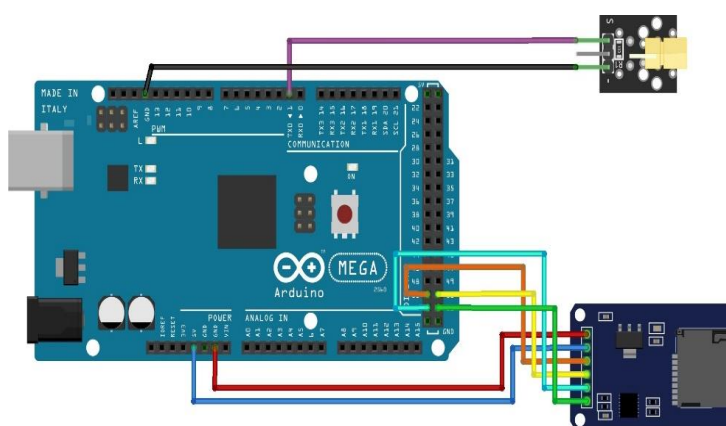
Wav es un formato de audio digital, desarrollado por Microsoft e IBM, el cual admite diferentes resoluciones y velocidades de muestreo. [6]

El formato wav que se utilizó fue de 8 bit de resolución a una tasa de muestreo de 11025 Hz.

El módulo Arduino Mega 2650 para procesar la información de audio la modula por ancho de pulsos (también conocida como PWM, siglas en inglés de pulse-width modulation), para poder enviarla por el puerto serial.

En el pin Tx del arduino se conectó el módulo láser para que la información sea transmitida.

Se conectó el arduino con los módulos según como se muestra en la figura 3.3



**Figura 3.3: Esquema de conexión transmisor**

Luego se ejecuta las líneas de código como se muestra en la figura 3.4

```

#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#define chipSelect 53
String musica;
void setup() {
  Serial.begin(115200); // Open serial communications and wait for port to open:
  while (!Serial) {
    ; // wait for serial port to connect. Needed for native USB port only
  }
  Serial.print("Initializing SD card..."); // see if the card is present and can be initialized
  pinMode(53, OUTPUT);
  if (!SD.begin(chipSelect)) {
    Serial.println("Card failed, or not present"); // don't do anything more:
    return;
  }
  Serial.println("card initialized.");
  for (int i = 0; i <= 5; i++) { // Lazo para que reproduzca las canciones ingresadas en la SD
    String myString = String(i); // convierte la variable en string para poder concatenar
    musica = String(myString + ".wav"); // una el string para que se pueda reproducir luego
    File dataFile = SD.open(musica); // abre el audio
    if (dataFile) {
      while (dataFile.available()) {
        Serial.write(dataFile.read());
      }
      dataFile.close();
    }
    else { // if the file isn't open, pop up an error:
      Serial.println("error opening musica.wav");
    }
  }
}
void loop() {
}

```

**Figura 3.4: Código para el transmisor**

- **Arduino Mega 2560**

El módulo Arduino Mega 2560 posee las siguientes características mostrados en la Tabla 4.

Nombre	Mega2560
Procesador	ATmega2560
Voltaje operación/entrada	5 V / 7-12 V
Velocidad	16 MHz
Entradas Analógicas/salidas	16/0
I/O Digitales- I/O PWM	54/15
EEPROM	4kB
SRAM	8kB
Flash	256kB
UART	4

Tabla 4: Características Arduino Mega

En la figura 3.5 podemos apreciar el arduino mega 2560.

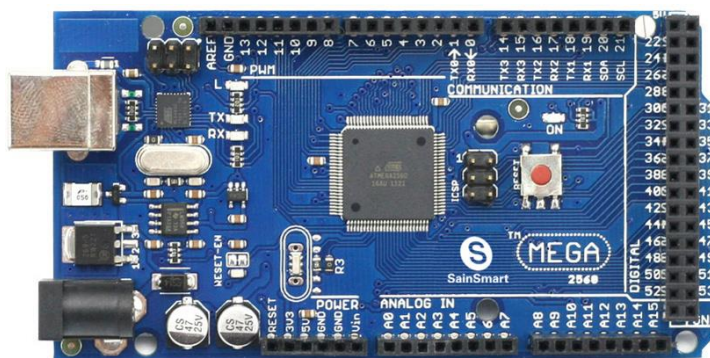


Figura 3.5: Arduino Mega 2560

- **Módulo Arduino láser**

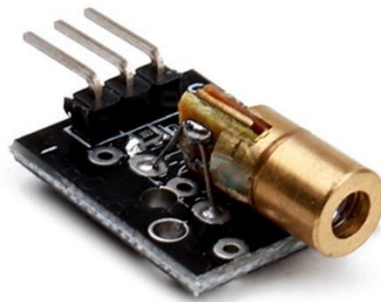
El módulo KY-008 es un módulo emisor de luz láser, de alta potencia (650nm) de color rojo, posee 3 pines de conexión, dos de alimentación

(Vcc y Gnd) y un pin separador sin función asignada (NC).

Al no contar con un pin de activación ésta se debe llevar a cabo mediante el pin de Vcc; por donde se envió la señal mensaje. Figura 3.6

Datos técnicos:

- Voltaje de funcionamiento 5 V
- Profundidad: 8 mm
- Dimensiones: 1,8 x 1.4sm
- Longitud de onda de 650nm
- Potencia: 5mW.



**Figura 3.6: Módulo Laser KY-008**

- **Módulo Arduino microSD.**

El módulo MicroSD es compatible con tarjetas SD (comúnmente utilizado en teléfonos móviles).

Este módulo tiene una interfaz SPI (Serial Peripheral Interface) y su alimentación es de 5V que lo hace compatible con Arduino UNO/Mega.

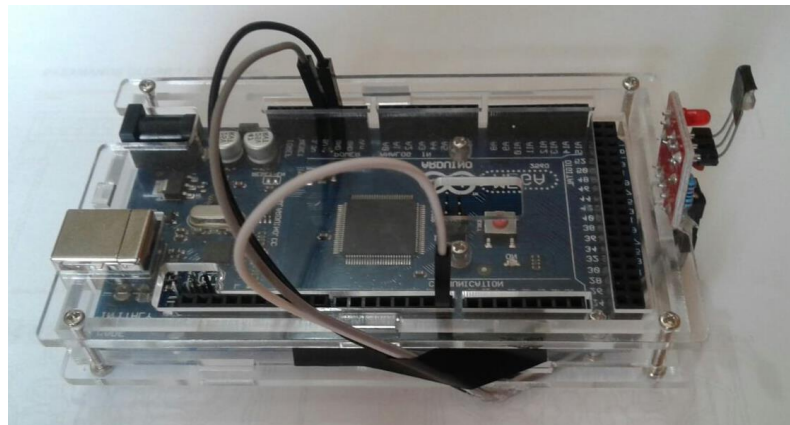
Tiene una dimensión de 20x28 mm. (Figura 3.7)



**Figura 3.7: Módulo Micro SD**

- **Receptor**

El receptor se diseñó en base a un módulo Arduino Mega-2560, un módulo receptor laser y un amplificador, (Figura 3.8)

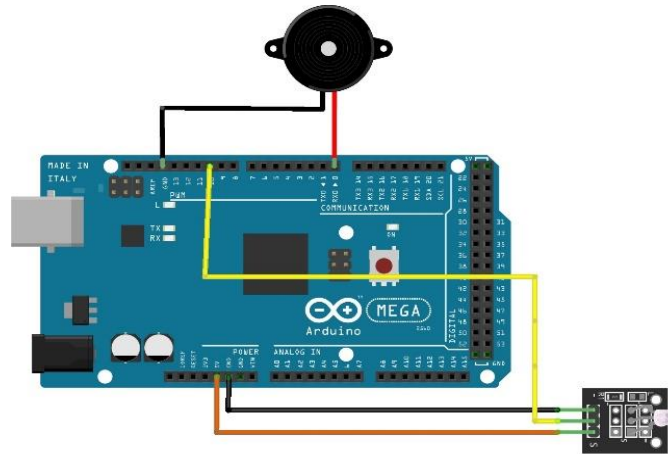


**Figura 3.8: Sistema Receptor**

El receptor se desarrolló a partir de un programa de playground de la página de Arduino (un espacio para que los desarrolladores compartan de manera libre sus códigos y experiencias con respecto a arduino). Este código permite realizar una simulación de PWM en Audio.

Se modificó este código, para lograr una mejor calidad de sonido, debido a que, si se usaba el código original, se debía implementar circuitería externa para mejorar la calidad de sonido y a pesar de ello, el resultado no era satisfactorio.

Para el receptor se utilizó el módulo arduino mega 2560, el módulo receptor láser y un parlante. Tal como se muestra en la figura 3.9.



**Figura 3.9: Esquema receptor**

Luego se ejecuta el programa que se muestra a continuación Figura 3.10 y Figura 3.11

```
#include <stdint.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include <avr/io.h>
#include <avr/pgmspace.h>
#include <TMRpcm.h>
#define SAMPLE_RATE 8000
#define STEREO_OR_16BIT
#include "sounddata.h"
int ledPin = 13;
int speakerPin = 10; // Can be either 9 or 10, two PWM outputs control
volatile uint16_t sample;
byte lastSample;
TMRpcm tmrpcm; // utiliza libreria extra para mejor reproducción
byte theByte = 0;
ISR(TIMER1_COMPA_vect) { // This is called at 8000 Hz to load the r
    if(speakerPin==10){
        OCR2A = theByte; //pgm_read_byte(&sounddata_data[sample]
    } else { OCR2B = pgm_read_byte(&sounddata_data[sample]);
    ++sample;}
}
```

**Figura 3.10: Primera parte código receptor**



```

void startPlayback()
{
    pinMode(speakerPin, OUTPUT);
    tmrpcm.speakerPin = 10;
    // Set up Timer 2 to do pulse width modulation on the speaker pin.
    // Use internal clock (datasheet p.160)
    ASSR &= ~(_BV(EXCLK) | _BV(AS2));
    // Set fast PWM mode (p.157)
    TCCR2A |= _BV(WGM21) | _BV(WGM20);
    TCCR2B &= ~_BV(WGM22);
    if(speakerPin==10){
        // Do non-inverting PWM on pin OC2A (p.155)
        TCCR2A = (TCCR2A | _BV(COM2A1)) & ~_BV(COM2A0);
        TCCR2A &= ~(_BV(COM2B1) | _BV(COM2B0));
        // No prescaler (p.158)
        TCCR2B = (TCCR2B & ~(_BV(CS12) | _BV(CS11))) | _BV(CS10);
        // Set initial pulse width to the first sample.
        OCR2A = pgm_read_byte(&sounddata_data[0]);
    } else {
        // Do non-inverting PWM on pin OC2B (p.155)
        TCCR2A = (TCCR2A | _BV(COM2B1)) & ~_BV(COM2B0);
        TCCR2A &= ~(_BV(COM2A1) | _BV(COM2A0));
        // No prescaler (p.158)
        TCCR2B = (TCCR2B & ~(_BV(CS12) | _BV(CS11))) | _BV(CS10);
        // Set initial pulse width to the first sample.
        OCR2B = pgm_read_byte(&sounddata_data[0]);
    }
    // Set up Timer 1 to send a sample every interrupt.
    cli();
    // Set CTC mode (Clear Timer on Compare Match) (p.133)
    // Have to set OCR1A *after*, otherwise it gets reset to 0!
    TCCR1B = (TCCR1B & ~_BV(WGM13)) | _BV(WGM12);
    TCCR1A = TCCR1A & ~(_BV(WGM11) | _BV(WGM10));
    // No prescaler (p.134)
    TCCR1B = (TCCR1B & ~(_BV(CS12) | _BV(CS11))) | _BV(CS10);
    // Set the compare register (OCR1A).
    // OCR1A is a 16-bit register, so we have to do this with
    // interrupts disabled to be safe.
    OCR1A = F_CPU / SAMPLE_RATE; // 16e6 / 8000 = 2000
    // Enable interrupt when TCNT1 == OCR1A (p.136)
    TIMSK1 |= _BV(OCIE1A);
    lastSample = pgm_read_byte(&sounddata_data[sounddata_length-1]);
    sample = 0;
    sei();
}

void setup()
{
    Serial.begin(115200);
    pinMode(ledPin, OUTPUT);
    digitalWrite(ledPin, HIGH);
    startPlayback();
}

void loop()
{
    while (Serial.available()){
        theByte = Serial.read();
    }
}

```

Figura 3.11: Segunda parte código receptor

- **Módulo Arduino Receptor Láser.**

El módulo receptor de láser posee las siguientes características. Figura 3.12:

- Tamaño de la PCB: 1.5 x 1.9cm
- Voltaje de trabajo: 5V
- Salida de alto nivel cuando recibe señal láser
- Salida de bajo nivel cuando no se recibe señal láser



**Figura 3.12: Módulo receptor**

- **Amplificadores.**

Como amplificadores utilizamos un parlante compatible con las PCs mediante un adaptador mono Figura 3.13



**Figura 3.13: Parlantes de PC**

### **3.2 Diseño e implementación de la modulación y demodulación de la señal.**

Para el desarrollo de la transmisión y recepción de la señal mensaje para los

fines de esta investigación se modulará en PWM, la razón de peso para hacerlo se debió a que los módulos Arduino traen salidas PWM nativas.

Para el envío y recepción de la señal mensaje como se explicó anteriormente en el capítulo 2.3 la señal mensaje debe ser modificada para su correcta emisión.

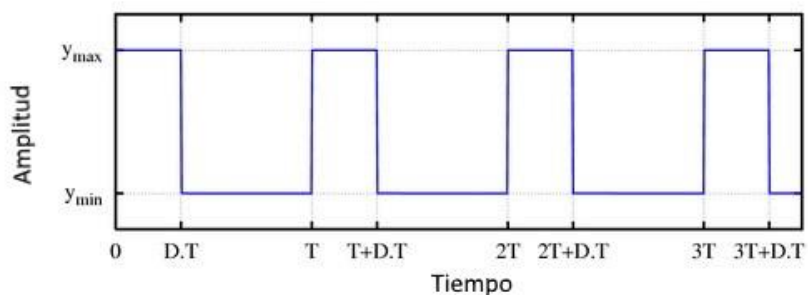
En este caso debido al uso de arduinos que para el modelo mega2560, poseen 15 salidas y entradas PWM, la modulación y demodulación se realizará en PWM.

- **PWM en Arduino.**

El PWM (Pulse-width modulation) o Modulación por ancho de pulsos, es una técnica de modulación en la cual una señal, usualmente una onda cuadrada y periódica en la cual se cambia su ciclo de trabajo.

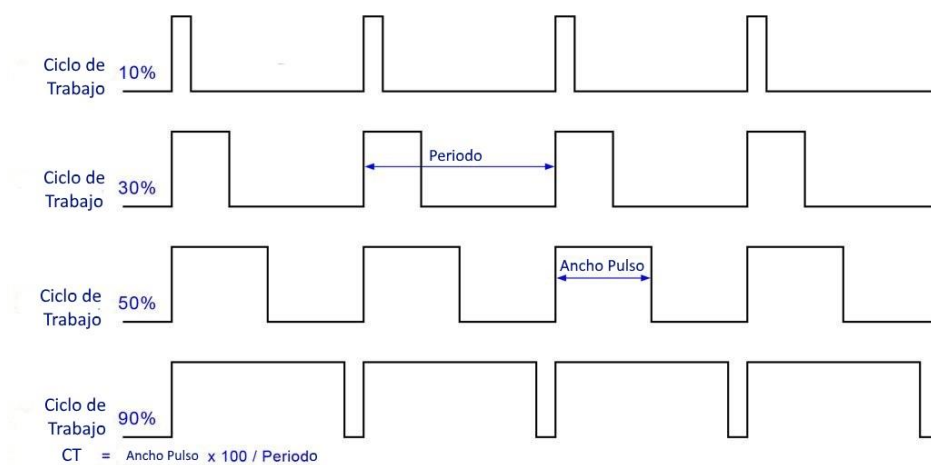
El ciclo de trabajo de una señal es la relación existente entre la parte positiva de la señal  $t$  y el periodo  $T$ , al cual llamaremos  $D$ , como se ve en la figura 3.14

$$D = t / T$$



**Figura 3.14: Ciclo de Trabajo en señal cuadrada.**

Por ello la técnica de PWM cambia su ciclo de trabajo a medida que cambia el voltaje de la señal medida, cuando aumenta el nivel de señal el ciclo de trabajo aumenta y cuando el nivel de señal disminuye el ciclo de trabajo disminuye también. Figura 3.15

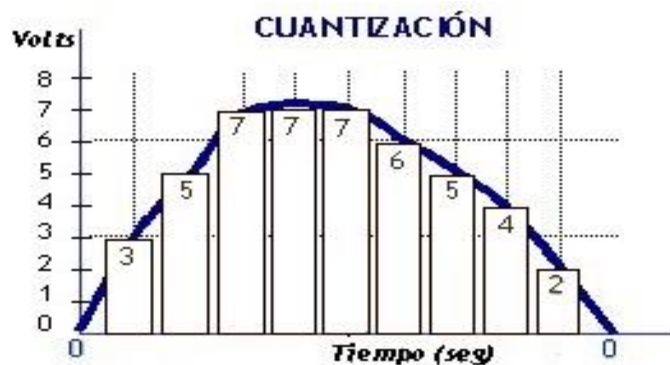


**Figura 3.15: Diferentes ciclos de trabajo obtenidos de una misma señal.**

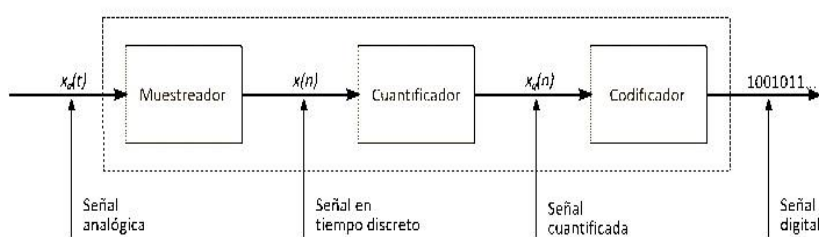
- **Conversión digital analógica**

En arduino como en otros microcontroladores solo se puede trabajar con señales digitales, para resolver el problema de ingresar una señal analógica a un entorno digital se usa la modulación PWM, al realizar este procedimiento por medio del arduino mega 2560 se sigue una serie de pasos, los cuales son:

Muestreo, cuantificación y codificación figura 3.16, a la salida de la codificación se obtendrá ya una señal digital con la cual se podrá trabajar. A este proceso se lo llama conversión analógico - digital o por sus siglas en inglés ADC. Figura 3.16. Todos estos pasos los realiza arduino de manera intrínseca pues este mecanismo es nativo de su estructura.

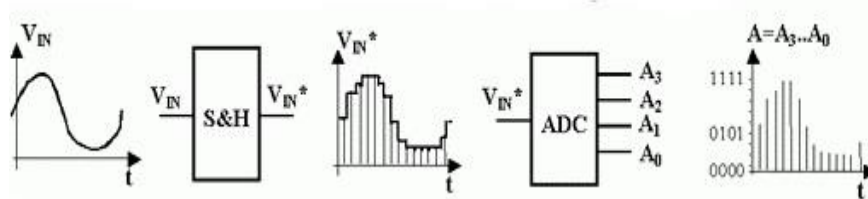


**Figura 3.16: Esquema de proceso de muestreo, cuantificación y codificación.**

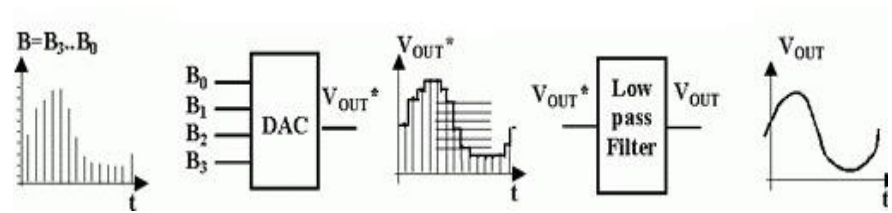


**Figura 3.17: Diagrama de bloques de procedimiento ADC**

Para tener una salida analógica el arduino se programa para poder usar una salida digital y hacerla simular ser analógica por medio del PWM.



**Figura 3.18: Procesos ADC.**



**Figura 3.19: Procesos DAC.**

En la figura 3.18 se observa el proceso del convertor Analógico a Digital y en la figura 3.19 el proceso de conversión digital a analógico.

Es por este medio que a la salida digital elegida del arduino se obtendrá una señal digital, pero que simula ser analógica, la que al conectarse a los parlantes externos se escucha el audio transmitido.

## CAPÍTULO 4

### 4. RESULTADOS ESPERADOS.

#### 4.1 Análisis de los parámetros de control de calidad de la señal.

Para poder verificar que una señal de audio está siendo transmitida se eligieron estos parámetros de control:

Atenuación de voltaje recibido en el sensor con respecto a la distancia:

- Espacios libres.
- Interferencia de otro medio (vidrio, plástico transparente, agua).

Perdida de paquetes transmitidos.

- A 40 metros en espacios libres.

Estudio de sombras a distintas distancias.

- Medición de sombra de láser.

- **Parámetros de Control: Atenuación.**

Para analizar la atenuación del diseño propuesto se procedió a recoger el voltaje del sistema en el emisor y en el receptor como se refleja en la tabla 5 y para mejor visualización de esta esta se realizó la gráfica de los datos en la figura 4.1. Y en la figura 4.2 se muestra las capturas de pantalla del osciloscopio a una distancia de 40 metros. Como señal de prueba se generó por medio del arduino mega 2560, una onda cuadrada de 54.84 kHz y un voltaje medio de 252mV.

Distancia [M]	Espacio Libre [mV]	Obstáculo [mV]		
		Vidrio	Plástico	Chorro Agua
1	245	247	252	244
5	305	331	265	260
10	260	281	266	258
20	274	275	230	271
30	251	251	239	255
40	254	252	257	251
50	268	259	246	132

Tabla 5: Voltajes medios en el receptor

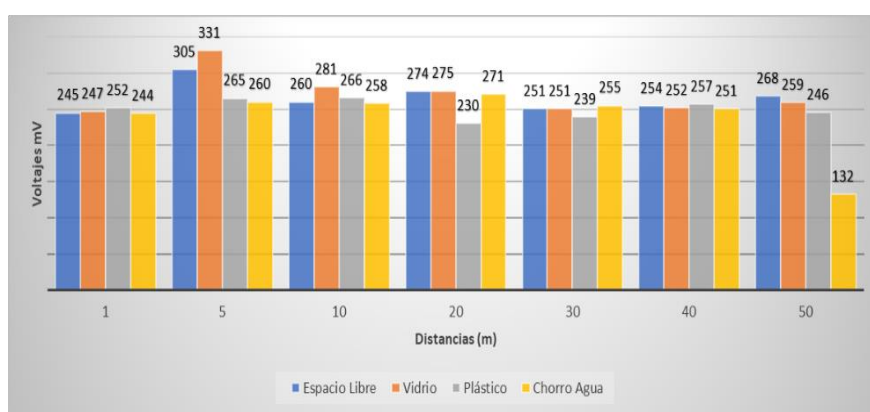


Figura 4.1: Voltaje vs Distancias

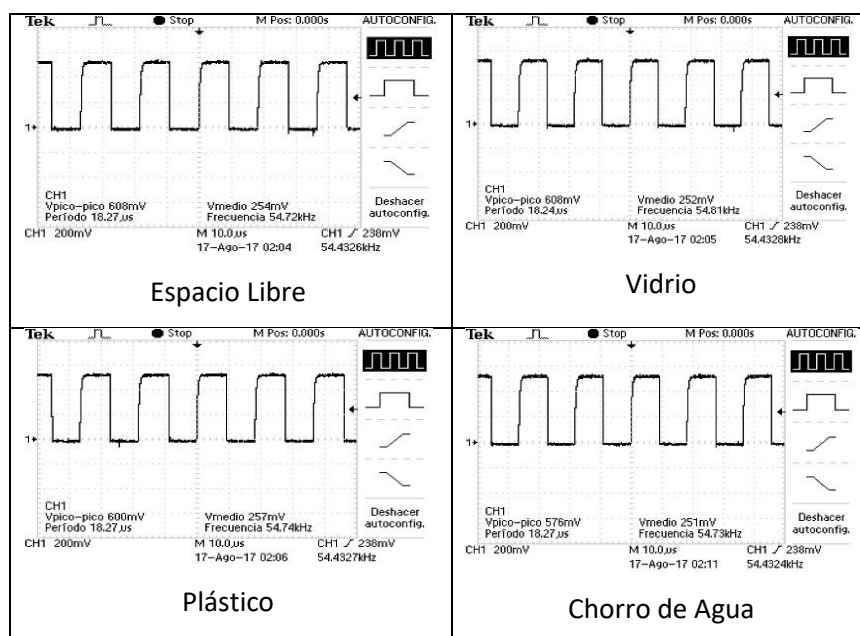


Figura 4.2: Capturas de Osciloscopio



- **Parámetros de Control: Perdida de símbolos**

Para verificar el proceso de envío – recepción de la señal se procedió a verificar la cantidad de símbolos que llegaron en base a los transmitidos.

El paquete de símbolos transmitidos contiene la siguiente estructura:

A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z a b c d e f g h  
i j k l m n o p q r s t u v w x y z 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

En total fueron 164 caracteres enviados 1000 veces por medio del sistema de rayo enlace.

- **Parámetros de Control: Estudio de sombras.**

Se midió la sombra proyectada por el láser a diferentes distancias para obtener el ángulo de difracción, utilizando la ecuación 4.1 se obtuvo los resultados de la tabla 6.

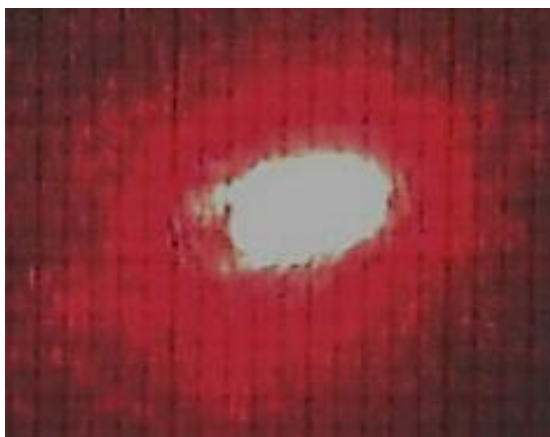
También podemos apreciar la sombra en la grafica

$$distancia = \frac{diámetro}{2} * \tan \emptyset \quad (4.1)$$

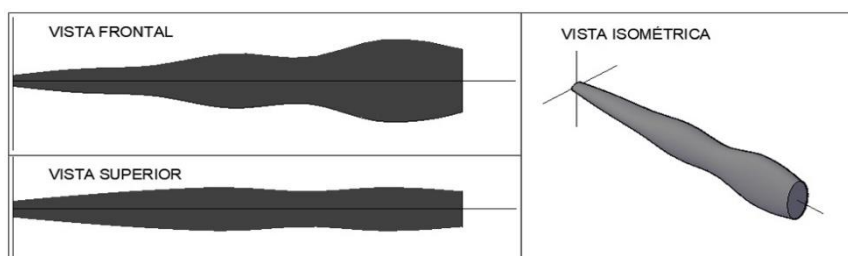
Distancia [m]	Diámetro [mm]	Alto [mm]	Angulo [rad]
1	6	4	0.32
5	10	8.5	0.78
10	14	11	0.96
20	16	20	1.19
30	13	17	1.36
40	16	30	1.37
50	13	23	1.44

**Tabla 6: Radio de sombra laser.**

En la figura 4.3 la muestra de la toma a 1 metro de distancia se puede visualizar mejor el comportamiento de la sombra.



**Figura 4.3: Muestra de sombra a 1 metro**



**Figura 4.4: Comportamiento de la Sombra**

- **Parámetros de Control: Señal - Ruido**

Se procedió a medir la relación señal ruido con ayuda de un osciloscopio a una distancia de 40 metros por 6 ocasiones obteniendo los resultados de la tabla 7, también se puede apreciar la lectura de una de las pruebas en la figura 4.5.

# Muestra	SNR (dB)
1	47.6
2	60.0
3	52.0
4	48.4
5	43.2
6	47.2

**Tabla 7: Resultados SNR**



**Figura 4.5: Imagen muestra SNR**

- **Resultados obtenidos**

De las mediciones realizadas para atenuación de la Tabla 5 y de la Figura 4.1 – 4.2, se observa que la atenuación de la señal no es continua, sino que presenta aumentos y disminuciones de amplitud de voltaje, este fenómeno tiene como explicación varios factores que se suman entre sí:

- Efecto Young o difracción por abertura circular. Por el principio de Huygens podemos ver cada onda que sale del colimador como una fuente individual de propagación esférica de la señal, todas estas infinitas fuentes al sumarse generan la señal láser con su mayor intensidad hacia adelante, pero además al formarse sucesivas superposiciones de los frentes esféricos individuales estos crearán un patrón que al aumentar la distancia formará zonas circulares de luz y oscuridad. [10]
- Difracción por perturbaciones en el medio. Todo obstáculo pequeño producirá una difracción en una onda de la señal e irán

formándose distorsiones en los patrones de ondas circulares acabando con la simetría.

- Falta de simetría en el colimador. Un colimador no simétrico produce distorsiones en el frente de onda.

Se observa el resultado de 15 pruebas realizadas sobre el enlace a 40 metros, y que mientras el enlace era estable no se registran pérdidas en la recepción.

En la Tabla 6 se hizo la medición de las sombras proyectadas a diferentes distancias, se observa que no existe una simetría, debido a los efectos descritos anteriormente.

En la Tabla 7 se observa valores entre 43.20 dB y 60.0 dB los cuales son considerados valores idóneos en la relación Señal ruido ya que no afecta en grandes cantidades el ruido a la señal mensaje.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez realizadas las pruebas del sistema de transmisión de audio, se verifica la factibilidad de la propuesta y múltiples ventajas con respecto a la calidad de enlace.

Las pérdidas por atenuación a la distancia de prueba han sido bajas y suficientes para mantener una conexión fiable, se realizaron pruebas de transmisión de distancia comprobable de hasta 150 metros, mayor que la distancia planteada, pero la calidad del audio no era la deseable, además en la prueba existía una fuerte presencia de viento que movía el trípode del emisor. La limitante de la distancia de transmisión parece ser una condición del receptor laser, cuyo límite estaría dado por la señal mínima que necesita para dispararse. También la superposición de ondas no parece tener efectos negativos en la señal, más bien la refuerza.

La presencia de objetos a través de los cuales pase la luz no representan problemas para el enlace, al ser estas superficies transparentes hay que tener cuidado de alinearlas perpendicularmente a la trayectoria del enlace, pues de lo contrario se generarán reflexiones y refracciones en la superficie del medio que desviarán la trayectoria del rayo. De la misma manera las superficies deben estar relativamente limpias para que no obstruyan línea de vista.

Las frecuencias altas no presentaron pérdidas de calidad de señal para las distancias de prueba, por la naturaleza de los equipos de medición solo fue posible enviar una onda de cuadrada de 9MHz sin presentarse distorsión.

Se realizaron 15 muestras de 124.000 caracteres de los cuales no se observó, ningún tipo de error, mientras el enlace era constante, en cambio cuando se desviaba milimétricamente el láser por motivos del viento, llegaba información basura que cortaba la señal, debido a que no se encontraba alineado el transistor con el receptor y desde luego se perdía información con la obstrucción entre el transmisor y receptor.

Un punto fundamental en este tipo de enlaces es el apuntar con la suficiente precisión la línea emisor-receptor, pues de lo contrario se perderá el enlace.

El sensor es extremadamente sensible a la luz natural, ya que también es un sensor de luz infrarroja y la luz solar tiene hasta un 90% de luz infrarroja no visible. Por ello la necesidad de un filtro pasivo.

También se comprobó que la luz de cualquier tipo, no afecta al rayo enlace en el medio de propagación, la parte sensible es el sensor como tal si la luz llega al sensor directamente, se pierde conectividad.

El problema más grave es la sensibilidad a perder línea de vista, cualquier falla en este sentido provoca la pérdida del enlace lo que supera con respecto a las otras ventajas antes mencionadas.

Para futuros trabajos se recomienda que:

Se debe buscar emisores de mayor concentración de señal, esto es posible con un colimador de mejor calidad que no presente asimetrías graves en su construcción.

El emisor laser también debe soportar mayores potencias para poder aumentar el alcance del enlace.

También es imprescindible el estudio de las características del sensor laser, un sensor que solo reciba determinada franja de luz sería idóneo para mejorar su inmunidad a ruido de otras luces.

Para filtrar la mayor cantidad de luz ruido, se debe armar un filtro pasivo que se amolde al circuito elaborado.

El Arduino Mega 2560 es una herramienta versátil y fiable para programar, pero tiene el fuerte limitante de solo soportar señales de baja frecuencia de transmisión, para mejorar los alcances de futuros trabajos se deberá buscar equipos o circuitería de mayor ancho de banda y de ser equipos que puedan procesar a mayores velocidades para poder experimentar con otros tipos de señales como video.

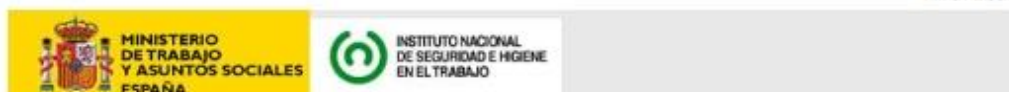
## BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Gao, *Optoelectronic Integrated Circuit Design and Device Modeling*, Beijing: Higher Education Press, 2011.
- [2] American National Standards Institute, «American National Standard for Safe Use of Lasers,» Laser Institute of America 13501, Orlando, 2007.
- [3] D. H. Robledo, «Guía Médica Avanzada de la Ciencia del Láser,» de *Normas Láser y Clasificaciones*, Madrid, 2010, pp. 548-596.
- [4] M. S. -S. M. M. - S. R. Nelatury, «Free Space Optical Communications: An Overview,» *European Scientific Journal*, vol. 12, nº 9, pp. 55-68, 2016.
- [5] NASA, «NASA.GOV,» Rachel Kraft - Stephanie L. Smith, 6 JUNIO 2014. [En línea]. Available: <https://www.nasa.gov/press/2014/june/nasa-beams-hello-world-video-from-space-via-laser/>.
- [6] Academia de Networking de Cisco System, *Fundamentos de Redes Inalámbricas*, Madrid: Prentice-Hall, 2006.
- [7] I. Leon W. Couch, *Digital and Analog Communication Systems*, USA: Prentice Hall, 2013.
- [8] Arduino AG, «Arduino.cc,» Feriderico Musto, 26 10 2005. [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/>.
- [9] Microsoft , «Library of Congress,» 7 Marzo 1991. [En línea]. Available: <https://www.loc.gov/preservation/digital/formats/fdd/fdd000001.shtml>.
- [10] W. R. Jean-Claude Diels, *Ultrashort Laser Pulse Phenomena*, USA: Elsevier Inc, 2006.

## ANEXOS

### Clasificación del láser según el instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo

Año: 2003



### NTP 654: Láseres: nueva clasificación del riesgo (UNE EN 60825-1 /A2: 2002)

Les Lasers: Nouvelle classification des risques (UNE EN 60825-1/A2:2002)  
New laser classification (UNE EN 60825-1/A2: 2002)

Las NTP son guías de buenas prácticas. Sus indicaciones no son obligatorias salvo que estén recogidas en una disposición normativa vigente. A efectos de valorar la pertinencia de las recomendaciones contenidas en una NTP concreta es conveniente tener en cuenta su fecha de edición.

#### Redactoras:

Beatriz Diego Segura  
Licenciada en Ciencias Químicas

María José Rupérez Calvo  
Doctora en Ciencias Químicas

CENTRO NACIONAL DE NUEVAS TECNOLOGÍAS

Esta NTP actualiza la NTP-261 de 1991.

#### Introducción

El objetivo de esta NTP es facilitar la comprensión de los cambios producidos en la norma UNE EN 60825-1 de 1996, «Seguridad de los productos láser. Parte 1: Clasificación del equipo, requisitos y guía del usuario».

Esta norma ha sido modificada por la UNE EN 60825-1/A11 en 1997 y, recientemente, por la UNE EN 60825-1/A2: 2002. Complementa y modifica entre otros aspectos la clasificación de los láseres en función de los riesgos que supone su utilización. Su origen es la adopción por el CENELEC de la norma IEC 60825-1:1993/A2:2001.

#### Descripción de las clases de láser

Los láseres no forman un grupo homogéneo de riesgo ya que, dependiendo de sus características técnicas (sistema de bombeo, medio activo y cavidad óptica) pueden emitir radiación en un amplio intervalo de longitudes de onda, con potencias o energías de salida muy variables y con una distribución temporal que puede ser continua o en impulsos. Además las distintas aplicaciones, condicionan el tiempo de exposición, que es un factor clave para determinar el riesgo.

La clasificación de un láser en categorías de riesgo, permite identificar la peligrosidad del mismo y está basada en el Límite de Emisión Accesible (LEA) para el usuario. Dependiendo del LEA el láser obtendrá una clasificación u otra.

El desarrollo de nuevos productos láser, de potencias intermedias, ha dejado obsoleta la antigua clasificación. Las antiguas Clases 1, 2, 3B y 4 permanecen sin cambios, y se añaden las Clases intermedias 1 M, 2M y 3R lo que hace que láseres que antes resultaban ser Clase 3B, ahora pertenezcan a alguna de estas nuevas categorías.

A continuación se expone de forma casi íntegra la nueva clasificación publicada en la norma UNE EN 60825-1/A2, y en la figura 1 un resumen simplificado de la misma.



**TABLA 1**  
**Clasificación de láseres según UNE EN 60825-1 /A2-2002**

<b>Clase 1</b>	Productos láser que son seguros en todas las condiciones de utilización razonablemente previsibles, incluyendo el uso de instrumentos ópticos en visión directa.
<b>Clase 1M</b>	Láseres que emitiendo en el intervalo de longitudes de onda ( $\lambda$ ) entre 302,5 y 4000 nm son seguros en condiciones de utilización razonablemente previsibles, pero que pueden ser peligrosos si se emplean instrumentos ópticos para visión directa. (Ver 8.2 en la norma).
<b>Clase 2</b>	Láseres que emiten radiación visible en el intervalo de longitudes de onda comprendido entre 400 y 700 nm. La protección ocular se consigue normalmente por las respuestas de aversión, incluido el reflejo parpebral. Esta reacción puede proporcionar la adecuada protección aunque se usen instrumentos ópticos.
<b>Clase 2M</b>	Láseres que emiten radiación visible (400 y 700 nm). La protección ocular se consigue normalmente por las respuestas de aversión, incluido el reflejo parpebral, pero la visión del haz puede ser peligrosa si se usan instrumentos ópticos. (Ver 8.2)
<b>Clase 3R</b>	Láseres que emiten entre 302,5 y 106 nm, cuya visión directa del haz es potencialmente peligrosa pero su riesgo es menor que para los láseres de Clase 3B. Necesitan menos requisitos de fabricación y medidas de control del usuario que los aplicables a láseres de Clase 3B. El límite de emisión accesible es menor que 5 veces el LEA de la Clase 2 en el rango 400-700 nm, y menor de 5 veces el LEA de la Clase 1 para otras longitudes de onda.
<b>Clase 3B</b>	Láseres cuya visión directa del haz es siempre peligrosa (por ej. dentro de la Distancia Nominal de Riesgo Ocular). La visión de reflexiones difusas es normalmente segura (véase también la nota 12.5.2c).
<b>Clase 4</b>	Láseres que también pueden producir reflexiones difusas peligrosas. Pueden causar daños sobre la piel y pueden también constituir un peligro de incendio. Su utilización precisa extrema precaución.

**Figura 1**  
**Resumen de la clasificación láser**

<b>Clase 1</b>	Seguros en condiciones razonables de utilización
<b>Clase 1M</b>	Como la Clase 1, pero no seguros cuando se miran a través de instrumentos ópticos como lupas o binoculares.
<b>Clase 2</b>	Láseres visibles (400 a 700 nm). Los reflejos de aversión protegen el ojo aunque se utilicen con instrumentos ópticos.
<b>Clase 2M</b>	Como la Clase 2, pero no seguros cuando se utilizan instrumentos ópticos.
<b>Clase 3R</b>	Láseres cuya visión directa es potencialmente peligrosa pero el riesgo es menor y necesitan menos requisitos de fabricación y medidas de control que la Clase 3B.
<b>Clase 3B</b>	La visión directa del haz es siempre peligrosa, mientras que la reflexión difusa es normalmente segura.
<b>Clase 4</b>	La exposición directa de ojos y piel siempre es peligrosa y la reflexión difusa normalmente también. Pueden originar incendios.

## Requisitos mínimos de seguridad

Los requisitos mínimos de seguridad para la fabricación de productos láser pretenden conseguir la eliminación de los riesgos y cuando esto no es técnicamente posible reducirlos en la fase de diseño.

Dentro de estos requisitos, y teniendo en cuenta la clase a la que pertenece cada producto láser, los fabricantes están obligados a adoptar una serie de medidas de seguridad relativas al diseño de sus productos. Entre estas medidas está el empleo de carcasas protectoras, paneles con enclavamientos de seguridad, atenuadores del haz, etc.

A modo de resumen la tabla 2 especifica cuáles son estos requisitos de fabricación en función de la nueva clasificación de los productos láser.

**Tabla 2**  
**Requisitos de fabricación de los láseres**

Requisitos	Clasificación						
	1	1M	2	2M	3R	3B	4
Cubierta protectora	--	O	O	O	O	O	O
Bloqueo de seguridad	X	X	X	X	+	+	+
Control remoto	--	--	--	--	--	O	O
Control de llave	--	--	--	--	--	O	O
Aviso de emisión	--	--	--	--	O	O	O
Atenuador del haz	--	--	--	--	--	O	O
Localización de controles	--	--	--	--	♣	♣	♣
Óptica de observación	--	▼	▼	▼	▼	▼	▼
Barrido	O	O	O	O	O	O	O
Etiqueta de Clase	T	T	F, T	F, T	F, T	F, T	F, T
Etiqueta de abertura	--	--	--	--	Te	Te	Te
Etiqueta de entrada en servicio	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
Etiqueta de neutralización del bloqueo	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙
Etiqueta de intervalo de $\lambda$	▼	▼	▼	▼	▼	▼	▼
Etiqueta de LED	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲
Manual con instrucciones de seguridad	O	O	O	O	O	O	O
Información de compra y servicio técnico	O	O	O	O	O	O	O
Productos médicos	♣	♣	♣	♣	♣	♣	♣

- |   |  |
|---|--|
| O Obligatorio   | + Necesario para impedir emisión > 3B              |
| -- No necesario                                       | T Texto requerido                                  |
| X Necesario para impedir emisión > 3R                 | ▼ La emisión debe ser < LEA de la Clase 1          |
| ♣ Necesario para impedir emisión > LEA Clase 1 ó 2    | F Figuras normalizadas                             |
| Te Texto especificado requerido                       | (*) Obligatoria y específica para cada Clase       |
| ▲ Correcciones de texto necesarias para productos LED | ▼ Obligatoria para ciertos intervalos de $\lambda$ |
| ♣ Se aplica la norma CEI 60601-2-22                   | ⊙ Obligatoria en ocasiones según la Clase          |

## Etiquetado

La obligación de clasificar un láser y de informar al usuario sobre sus riesgos mediante la etiqueta estándar, recae sobre el fabricante del mismo.

Las etiquetas deberán ser legibles, claramente visibles y estar en todo momento fijas durante el funcionamiento, mantenimiento o ajuste del láser. Además tienen que estar situadas de modo que puedan leerse sin que la exposición a la radiación supere el LEA de la Clase 1. En aquellos casos en los que el tamaño del producto o su diseño haga imposible la colocación de etiquetas, éstas deberán incluirse en la información que se suministre al usuario o bien dentro del embalaje del producto láser.

La norma establece distintos tipos de etiquetas: de advertencia, explicativas, de abertura y etiquetas de los paneles de acceso a los equipos láser.

El color, la forma, el pictograma y las dimensiones de la etiqueta de advertencia (figura 2) están establecidos en la figura 14 de la norma. Es obligatoria en los productos láser de las clases 2, 2M, 3R, 313 y 4.

Las etiquetas explicativas informan sobre la clase a la que pertenece el láser y contienen frases de advertencia normalizadas en función del riesgo que supone la utilización de los equipos (figura 3). En la norma, se hace mención a estas etiquetas en el capítulo 5 y la figura 15. Para los productos de radiación LED (Light-Emitting Diode), se debe sustituir la palabra "láser" de las etiquetas explicativas por la palabra "LED".

Figura 2  
Etiqueta de advertencia



Además de la información contenida en las etiquetas explicativas descrita en la figura 3, los productos láser, con excepción de los de la Clase 1, deben contener cierta información relativa a las características técnicas, como la potencia máxima de la radiación emitida, la duración del pulso (si ha lugar) y las longitudes de onda emitidas, así como el nombre y la fecha de publicación de la norma en la que se basa la clasificación del producto. Para los láseres de Clase 1 y 1 M esta información tiene que estar contenida en el manual de información del usuario, en lugar de suministrarla en las correspondientes etiquetas adheridas al producto.

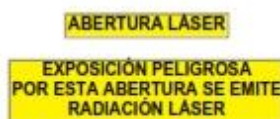
Los equipos láser que estén clasificados dentro de las categorías 3R, 313 y 4 deberán llevar cerca de la abertura por la que se emite la radiación una etiqueta, denominada etiqueta de abertura, siempre que la radiación saliente supere el nivel LEA de la Clase 1 ó 2.

**Figura 3**  
Etiquetas explicativas



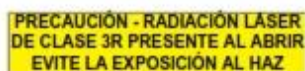
La norma permite elegir entre las dos frases de advertencia de la figura 4.

**Figura 4**  
Etiquetas de apertura



Si el producto láser tiene una conexión, un panel de acceso o una cubierta protectora que al retirarse exponga al trabajador a radiación láser que supere el LEA de la Clase 1, éstos deben de estar correctamente etiquetados en función de las directrices de la norma UNE EN 60825-1/A2: 2002. Como ejemplo se muestra en la figura 5 una etiqueta de panel para la Clase 3R. En la norma se detallan el resto de etiquetas para las demás clases.

**Figura 5**  
Etiqueta de panel



Por último, cuando los paneles estén asociados a bloqueos de seguridad que puedan ser fácilmente neutralizados y que permitan un acceso a la radiación láser superior al LEA de la Clase 1, se deben etiquetar estos paneles tal y como establece la norma en su apartado 5.9.2.

## Medidas de control

A la hora de adoptar medidas de control, la norma sugiere una serie de ellas y establece cuál debe ser la jerarquía de las mismas.

En primer lugar hay que tener en cuenta la capacidad del láser para producir daño, que se obtiene de su clasificación.

En segundo lugar, deben controlarse los factores ambientales por medio de actuaciones técnicas, por ejemplo el establecimiento de un sistema de control de llave o un atenuador del haz, o a través de medidas administrativas, como la designación de un Responsable de Seguridad Láser y el establecimiento de zonas de seguridad mediante la DNRO para láseres de Clase 3B y 4. Finalmente, se han de controlar los factores individuales como la protección ocular y el nivel de conocimiento de los trabajadores acerca del potencial riesgo.

La utilización de filtros y gafas de protección es imprescindible si existe la posibilidad de una exposición superior a la máxima permitida. Los EPI de protección láser deben cumplir los requisitos mínimos especificados en la UNE EN 207 y su código es la letra L. Los EPI para los trabajos de ajuste láser deben cumplir los requisitos de la norma UNE EN 208 y su código es la letra R. Es importante distinguir entre ellos, ya que las gafas para ajuste láser protegen menos y se emplean con limitación de potencia y tiempo.

## Identificación de EPI para protección láser

La correcta identificación de las gafas y filtros de protección frente a láser, se consigue mediante el marcado CE, especificado en la norma UNE EN 207/A1 de 2003, mediante una secuencia de códigos que indican:

- La longitud de onda frente a la que protegen (una o varias bandas espectrales).
- Las condiciones de ensayo: D (láser continuo), I (láser pulsado), R (láser relajado o de pulso gigante) y M (láser multimodo).
- El grado de protección del ocular especificado en la norma precedido por la letra L.
- Identificación del fabricante.
- Requisitos de resistencia mecánica, en su caso.

En la figura 6 se expone un ejemplo de marcado de gafas de protección para un láser de Neodimio: YAG en el infrarrojo, a 1060 nm, que ha pasado las condiciones de ensayo para láser continuo y pulsado.

**Figura 6**  
**Marcado de EPI para trabajos con láser**

Marcado de gafas de protección					
Láser Nd:YAG- UNE EN 207/A1: 2003					
	1060	DI	L7	X	
	↑	↑	↑	↑	↑
	↑	↑	↑	↑	↑
Clase con protección asegurada	→	→	→	→	→
Condición ensayo (continuo, pulsado)	→	→	→	→	→
Grado protección	→	→	→	→	→
Identificación del fabricante	→	→	→	→	→

## Identificación de EPI para trabajos de ajuste de láser

El marcado CE para identificar las gafas de protección para ajuste láser, se especifica en la norma UNE EN 208, e incluye una secuencia de códigos diferente:

- Potencia máxima del láser (W).
- Energía máxima de los pulsos (J).
- La longitud de onda o banda espectral para la que se diseñan las gafas.
- El grado de protección del ocular especificado en la norma precedido por la letra R.
- Identificación del fabricante.
- Marca de certificación, si ha lugar.
- Sobre la montura, las palabras "gafas de ajuste" en los idiomas del país de comercialización.
- Requisitos de resistencia mecánica, en su caso.

En la figura 7 hay un ejemplo de marcado de gafas de ajuste para un láser de Argón en la banda del verde, a 514,5 nm.

Figura 7  
Marcado de EPI para trabajos de ajuste láser

Marcado de gafas de ajuste Láser de Argón (banda a 514,5 nm) UNE EN 208:1999						
	1W	2x10 <sup>-4</sup> J	514	R3	X	ZZ
Potencia máxima del láser	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Energía máxima de los pulsos	↑	↑	↑	↑	↑	↑
λ para la que se diseñan las gafas	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Grado protección	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Identificación del fabricante	↑	↑	↑	↑	↑	↑
Marca de certificación, si ha lugar	↑	↑	↑	↑	↑	↑

### Cálculo de la distancia nominal de riesgo ocular (DNRO)

La distancia nominal de riesgo ocular para un láser determinado, conocida normalmente por sus siglas DNRO, es la distancia a la cual la exposición a la radiación iguala la exposición máxima permisible (EMP) apropiada para la córnea.

Se emplea para delimitar zonas de riesgo en la evaluación de los puestos de trabajo con acceso a la radiación láser.

$$E = \frac{4 \times P_0 \times e^{-ar}}{\pi x (a + r)^2}$$

La exposición se puede estimar a partir de la siguiente expresión

Donde:

- E es la irradiancia de la fuente en vatios/m<sup>2</sup>.
- P<sub>0</sub> es la potencia radiante del láser expresada en vatios.
- El término exponencial hace referencia a las pérdidas debidas a la atenuación atmosférica (normalmente despreciable).
- a es el diámetro del haz.
- r es la distancia a la que se encuentra el trabajador.
- ∅ es la divergencia del haz.

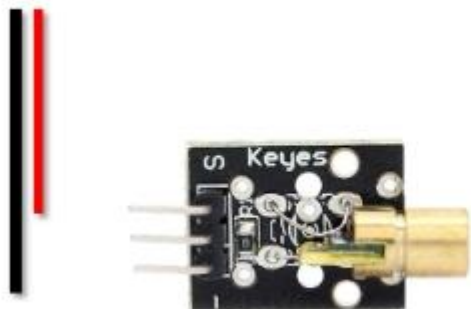
En el caso de que coincidan la exposición o irradiancia con la EMP, la distancia r será igual a la DNRO. El cálculo de dicha distancia se puede hacer mediante la fórmula siguiente:

$$DNRO = \frac{(4 \times P_0 / \pi x E_{EMP})^{1/2} - a}{\emptyset}$$

La DNRO se calcula de forma diferente en función del tipo de exposición: láser continuo, láser de impulsos, utilización de óptica de aumento o la existencia de reflexiones especulares y difusas. Para dichos cálculos se recomienda consultar IEC TR 60825-10 referenciado en la bibliografía.

## Especificaciones Técnicas del módulo láser

**MASTER**<sup>®</sup>  
Innovación en Electrónica



## AR-LASER

### MODULO EMISOR LASER

LED EMISOR DE LUZ DE ALTA POTENCIA,  
EMITE UN HAZ DE LUZ DE COLOR ROJO,  
CABEZAL METÁLICO DE BRONCE.



#### ATRIBUTOS

- El módulo AR-LASER (KY-008) es un circuito emisor de luz laser, diseñado para trabajar con proyectos y circuitos Arduino.
- Emite un haz de luz de alta potencia (650nm) de color rojo, su cabezal esta elaborado con bronce para darle mayor resistencia y una muy buena disipación del calor producido por el laser.
- Esta diseñado con 3 pines de conexión, dos de alimentación (Vcc y Gnd) y un pin separador sin función asignada (NC).
- Al no contar con un pin de activación esta se debe llevar a cabo mediante el pin de Vcc; enviando el pulso de activación mediante un pin de salida de Arduino que le suministre los 5V que el modulo requiere.
- Se recomienda extremar precauciones en la manipulación del modulo ya que la luz producida por el AR-LASER puede provocar quemaduras y daños temporales o permanentes en los ojos si se apunta o mira directamente al laser.

#### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

<b>DIMENSIONES:</b>	24 mm x 15 mm x 8 mm
<b>MATERIAL:</b>	FR-4
<b>PESO:</b>	3 gramos
<b>ALIMENTACIÓN:</b>	5 Vcc 30 mA
<b>LONGITUD DE ONDA:</b>	650 nm
<b>COMPATIBILIDAD:</b>	Arduino
<b>COLOR:</b>	Negro
<b>DESCRIPCIÓN DE PINS:</b>	1 – GND 2 – NC 3 – VCC

#### ACCESORIOS

- 1 x AR-LASER



PARA MAYOR INFORMACIÓN VISITA:

[www.master.com.mx](http://www.master.com.mx)

## Especificaciones Técnicas del módulo receptor láser

SHARP

IS1U60/IS1U60L

## IS1U60/IS1U60L

Sensors with 1-Package Design  
of Remote Control Detecting  
Functions owing to OPIC

## ■ Features

- 1-package design owing to adoption of OPIC
2. Compact  
(Volume : About 1/8 compared with GP1U58X)
3. B.P.F. (Band Pass Frequency) : (TYP. 38kHz)
4. Aspherical lens

## ■ Applications

1. Audio equipment
2. Cameras

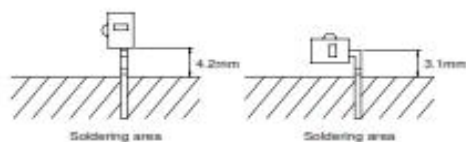
## ■ Absolute Maximum Ratings

(Ta=25°C)

Parameter	Symbol	Rating	Unit
Supply voltage	V <sub>CC</sub>	0 to 6.0	V
*1 Operating temperature	T <sub>op</sub>	-10 to +60	°C
Storage temperature	T <sub>stg</sub>	-20 to +70	°C
*2 Soldering temperature	T <sub>sol</sub>	260	°C

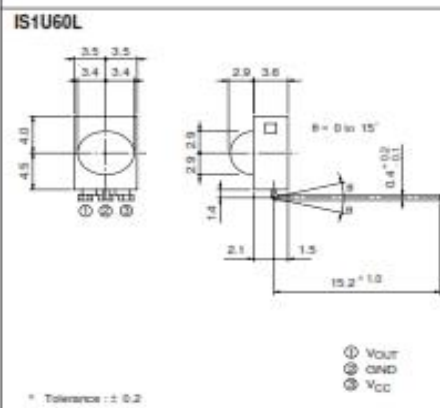
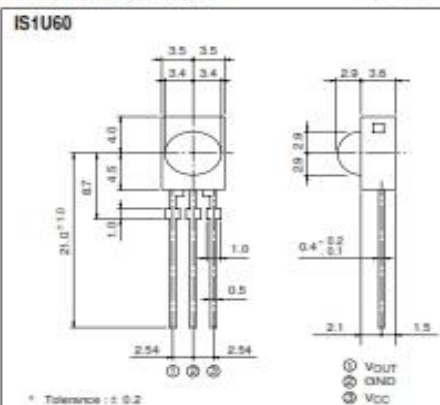
\*1 No dew condensation is allowed.

\*2 For 5 seconds.



## ■ Outline Dimensions

(Unit : mm)



\* "OPIC" (Optical IC) is a trademark of the SHARP Corporation.

An OPIC consists of a light-detecting element and signal-processing circuit integrated onto a single chip.

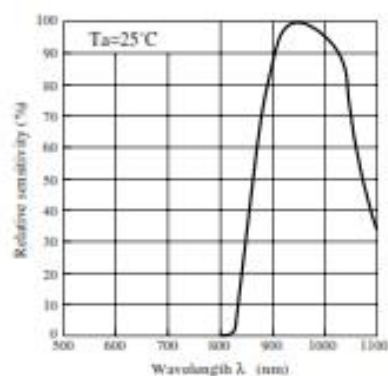
## ■ Recommended Operating Conditions

Parameter	Symbol	Recommended operating condition	Unit
Operating supply voltage	V <sub>CC</sub>	4.7 to 5.3	V

\* In the absence of confirmation by device specification sheets, SHARP takes no responsibility for any defects that occur in equipment using any of SHARP's devices, shown in catalogs, data books, etc. Contact SHARP in order to obtain the latest version of the device specification sheets before using any SHARP's devices.



Fig. 6 Spectral Sensitivity for Reference



### ■ Precautions for Operation

- (1) Use the light emitting unit (remote control transmitter), in consideration of performance, characteristics, operating conditions of light emitting device and the characteristics of the light detecting unit.
- (2) Pay attention to a malfunction of the light detecting unit when the surface is stained with dust and refuse.  
Care must be taken not to touch the light detector surface.
  - Conduct cleaning as follows.
- (3) Cleaning
  - Solvent dip cleaning : Solvent temperature of 45 °C max., dipping time : Within 3 minutes
  - Ultrasonic cleaning : Elements are affected differently depending on the size of cleaning bath, ultrasonic output, time, size of PWB and mounting method of elements.  
Conduct trial cleaning on actual operating conditions in advance to make sure that no problem results.
  - Use the following solvents only.  
Solvents : Ethyl alcohol, methyl alcohol or isopropyl alcohol
- (4) To avoid the electrostatic breakdown of IC, handle the unit under the condition of grounding with human body, soldering iron, etc.
- (5) Do not apply unnecessary force to the terminal.
- (6) Example of recommended external circuit (mount outer mounting parts near the sensor as much as possible.)

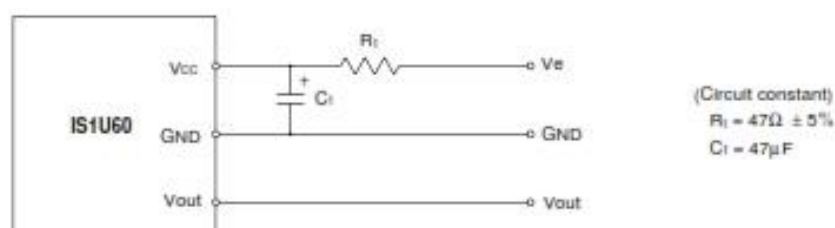


Fig. 1 B.P.F. Frequency Characteristics (TYP.)

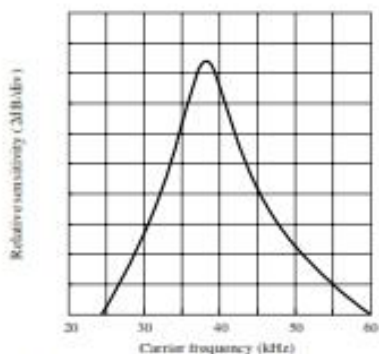


Fig. 2 Sensitivity Angle (Direction X) Characteristics (TYP.) for Reference

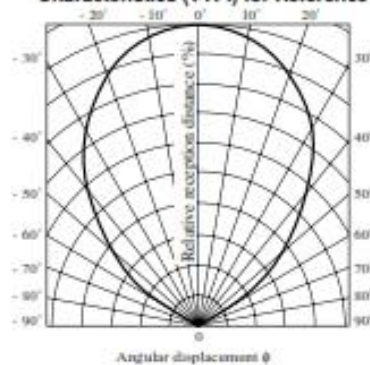


Fig. 3 Sensitivity Angle (Direction Y) Characteristics (TYP.) for Reference

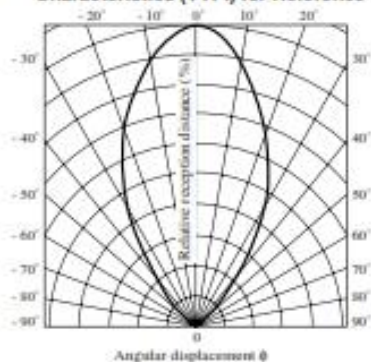


Fig. 4 Relative Reception Distance vs. Ambient Temperature (TYP.) for Reference

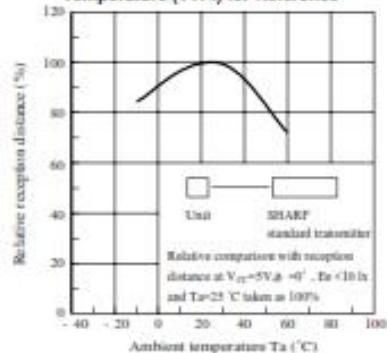
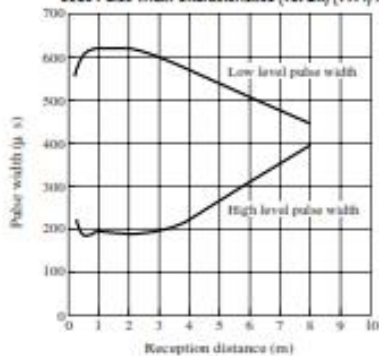


Fig. 5 AEHA (Japan Association of Electrical Home Appliances) Code Pulse Width Characteristics (1st Bit) (TYP.) for Reference



(Conditions)



$V_{CC}=5V$ ,  $T_a=RT$ ,  $\phi=0^\circ$ ,  $I_E < 10\text{mA}$



$T=430\ \mu\text{s}$

### ■ Performance

Using the transmitter shown in Fig. 1, the output signal of the light detecting unit is good enough to meet the following items in the standard optical system in Fig. 2.

#### (1) Linear reception distance characteristics

When  $L=0.2$  to  $5$  m,  $E_e < 10$  lx (\*4) and  $\phi = 0^\circ$  in Fig. 2, the output signal shall meet the electrical characteristics in the attached list.

#### (2) Sensitivity angle reception distance characteristics

When  $L=0.2$  to  $3$  m,  $E_e < 10$  lx (\*4) and  $\phi \leq 30^\circ$  in the direction X and  $\theta = 0^\circ$  in the direction Y in Fig. 2,

the output signal shall meet the electrical characteristics in the attached list. Further, the electrical characteristics shall be met

when  $L=0.2$  to  $5$  m,  $E_e < 10$  lx (\*4) and  $\phi = 0^\circ$  in the direction X and  $\theta \leq 15^\circ$  in the direction Y.

\*4 It refers to detector face illuminance.

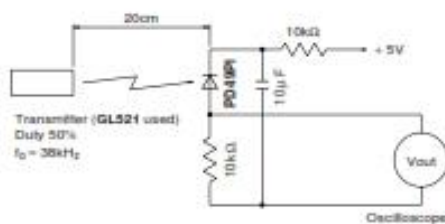


Fig. 1 Transmitter

In the above figure, the transmitter should be set so that the output  $V_{out}$  can be  $40mV_{p-p}$ .

However, the PD49PI to be used here should be of the short-circuit current  $I_{sc} = 2.6\mu A$  at  $E_v = 100$  lx. ( $E_v$  is an illuminance by CIE standard light source A (tungsten lamp).)

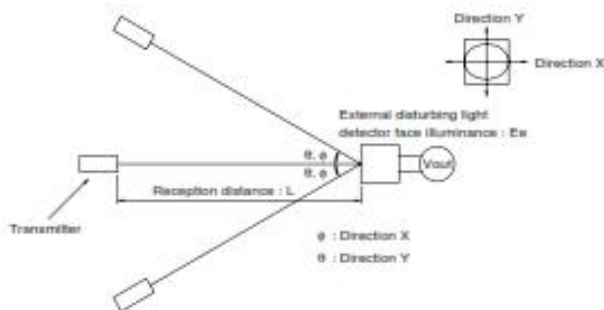


Fig. 2 Standard optical system

SHARP

IS1U60/IS1U60L

### ■ Electrical Characteristics

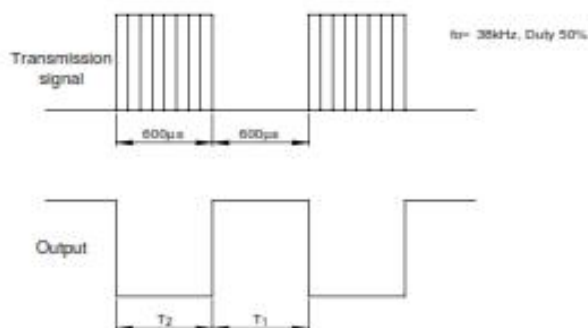
(Ta=25°C, V<sub>cc</sub> = +5V)

Parameter	Symbol	Conditions	MIN.	TYP.	MAX.	Unit
Dissipation current	I <sub>cc</sub>	No input light	-	2.8	4.5	mA
High level output voltage	V <sub>OH</sub>	*3, Output terminal OPEN	V <sub>cc</sub> - 0.2	-	-	V
Low level output voltage	V <sub>OL</sub>	*3, *4	-	0.45	0.6	V
High level pulse width	T <sub>1</sub>	*3	400	-	800	μs
Low level pulse width	T <sub>2</sub>		400	-	800	μs
B.P.F. center frequency	f <sub>0</sub>		-	38	-	kHz
Linear ultimate distance	L	φ, θ = 0°, E <sub>c</sub> < 10 lx	5.0	-	-	m
Linear ultimate distance	L <sub>1</sub>	φ = ± 30° (θ = 0°) θ = ± 15° (φ = 0°) E <sub>c</sub> < 10 lx	3.0	-	-	m

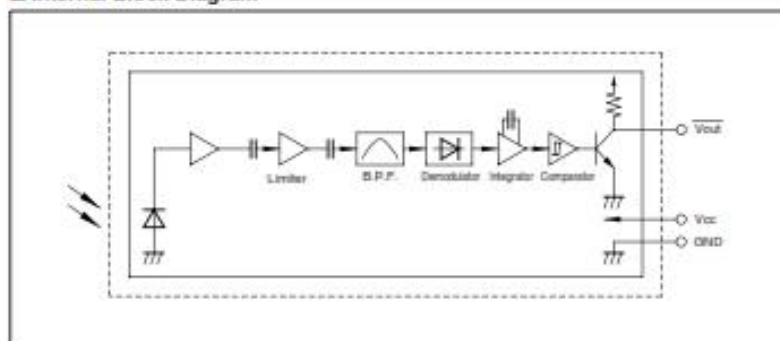
\*3 The heat wave as shown in the following figure shall be transmitted.

\*4 Pull-up resistance : 2.2kΩ

\*5 By SHARP transmitter



### ■ Internal Block Diagram



Especificaciones Técnicas del módulo lector MicroSD

---

Micro SDSC / SDHC / SDXC

Micro SD Data Sheet

---

## Micro SDSC / SDHC / SDXC

---

### 1. Introduction to the micro SDSC/SDHC/SDXC

Micro SD Card is a Flash – Based memory card that is designed to meet the security, capacity, performance and environment requirements inherent to use in emerging audio and video electronic device.

The Micro SD Card communication is based on an advance 8-pin interface (clock, command, 4x Data and 2x power lines) and the Micro SD Memory Card host interface supports regular Multi Media Card operation as well.

### 2. System Features

※ Targeted for portable and stationary applications

※ Capacity of Memory

(1) Standard Capacity SD Memory card (SDSC): Up to and including 2 GB

(2) High Capacity SD Memory Card (SDHC): More than 2GB and up to and including 32GB

(3) Extended Capacity SD Memory Card (SDXC): More than 32GB and up to and including 2TB

※ Voltage range:

High Voltage SD Memory Card – Operating voltage range: 2.7-3.6 V

※ Designed for read-only and read/write cards.

※ Compliant SD Card Specification ver. 3.01

※ Bus Speed Mode (using 4 parallel data lines)

(1) Default Speed mode: 3.3V signaling, Frequency up to 25 MHz, up to 12.5 MB/sec

(2) High Speed mode: 3.3V signaling, Frequency up to 50 MHz, up to 25 MB/sec

(3) SDR12: 1.8V signaling, Frequency up to 25 MHz, up to 12.5MB/sec

(4) SDR25: 1.8V signaling, Frequency up to 50 MHz, up to 25MB/sec

(5) SDR50: 1.8V signaling, Frequency up to 100 MHz, up to 50MB/sec

(6) SDR104: 1.8V signaling, Frequency up to 208 MHz, up to 104MB/sec

(7) DDR50: 1.8V signaling, Frequency up to 50 MHz, sampled on both clock edges, up to 50MB/sec

※ Switch function command supports High-Speed, and future functions

※ Correction of memory field errors

※ Card removal during read operation will never harm the content

※ Content Protection Mechanism - Complies with highest security of SDMI standard.

※ Password Protection of cards (CMD42 - LOCK\_UNLOCK)

※ Write Protect feature using mechanical switch

※ Built-in write protection features (permanent and temporary)

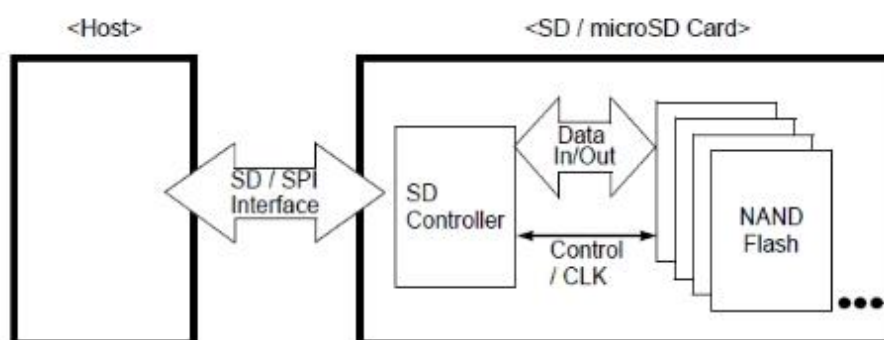
※ Card Detection (Insertion/Removal)

※ Application specific commands

※ Comfortable erase mechanism

## Micro SDSC / SDHC / SDXC

### 2.1 System Block Diagram



### 2.2 Speed Class

※ Five Speed Classes are defined and indicate minimum performance of the cards

- ◆ Class 0 - These class cards do not specify performance. It includes all the legacy cards prior to this specification, regardless of its performance
- ◆ Class 2 is more than or equal to 2 MB/sec performance
- ◆ Class 4 is more than or equal to 4 MB/sec performance
- ◆ Class 6 is more than or equal to 6 MB/sec performance
- ◆ Class 10 is more than or equal to 10 MB/sec performance

※ Dimension: 15.0mm x 11.0mm

※ Support CPRM

※ No external programming voltage required

※ SD Memory Card protocol compatible

※ Targeted for portable and stationary applications for secured (copyrights protected) and non-secured data storage

※ Correction of memory field errors

※ Copyrights Protection Mechanism: Complies with highest security of SDMI standard

※ Card Detection (Insertion / Removal)

※ CE and FCC certificates

※ Easy handling for the end user

**Notes: The performance depends on different test platform with different result.**

- The communication channel is described in the table below
- **Micro SDSC/SDHC/SDXC Bus/SPI Bus comparison**

Micro SDSC/SDHC/SDXC Using SD Bus	Micro SDSC/SDHC/SDXC Using SPI Bus
Six-wire communication channel (clock, command, 4 data lines)	Three-wire serial data bus (Clock, dataIn, data Out )+card specific CS signal(hardwired card selection)
Error-protected data transfer	Optional non protected data transfer mode available
Single or multiple block oriented data transfer	Single or multiple block oriented data transfer

---

 Micro SDSC / SDHC / SDXC
 

---

**3. Product Specification****3.1 Reliability and Durability Specifications**

Temperature	Operating: -25°C to 85°C Storage: -40°C(168h) to 85°C(500h)
moisture and corrosion	Operating: 25 °C / 95% rel. humidity Non-Operating: 40 °C / 93% rel. hum./500h salt water spray: 3% NaCl/35C; 24h acc. MIL STD Method 1009
Durability	10,000 mating cycles
Bending	10N
Torque	0.10N*m. ±2.5° max
Drop Test	1.5m free fall
Visual Inspection/Shape and Form	No warp age; no mold slim; complete form; no cavities; surface smoothness ≤ 0.1mm/ cm2 within contour; no cracks; no pollution (oil, dust, etc.)

**3.2 System Reliability and Maintenance**

MTBF	>1,000,000 hours
Preventive Maintenance	None
Data Reliability	< 1 non-recoverable error in 10 <sup>14</sup> bits read
Endurance	MLC 3,000~10,000 write/erase cycles TLC 500~1,000 write/erase cycles

**3.3 Electrical Static Discharge (ESD) requirement**

ESD Protection	Contact Discharge:	±4KV, Human body model according to IEC61000-4-2.EN55024
	Air Discharge:	±8KV, Human body model according to IEC61000-4-2.EN55024



## Micro SDSC / SDHC / SDXC

### 4. Micro SDSC/SDHC/SCXC Interface Description

#### 4.1 General Description of Pins and Registers

The Micro SDHC has nine exposed contacts on one side. The host is connected to the SD Memory Card using a eight pin connector.

##### Pin Assignment in SD Bus Mode Pad Definition

Pin #	Name	Type	Micro SD Description
1	DAT2	I/O	Card Detect/ Data Lin [Bit 3]
2	CD/DAT3	I/O	Card Detect / Data Line
3	CMD	PP	Command / Response
4	VDD	S	Supply voltage
5	CLK	I	Clock
6	Vss	S	Supply voltage ground
7	DAT0	I/O	Data Line [Bit 0]
8	DAT1	I/O	Data Line [Bit 1]

Note:

- 1) S=power supply; I=input; O=output using push-pull drivers.
- 2) The extended DAT lines (DAT1-DAT3) are input on power up; they start to operate as DAT lines after the SET\_BUS\_WIDTH command.
- 3) After power up, this line is input with 50Kohm pull-up (can be used for card detection or SPI mode selection). The pull-up should be disconnected by the user, during regular data transfer, with SET\_CLR\_CARD\_DETECT (ACMD42) command.

##### Pin Assignment in SPI Bus Mode Pad Definition

Pin #	Name	Type	Micro SD Description
1	RSV		Reserved
2	CS	I	Chip Select (neg true)
3	DI	S	Data In
4	VDD	S	Supply Voltage
5	SCLK	I	Clock
6	VSS	S	Supply Voltage Ground
7	DO	O	Data Out
8	RSV	I	Reserved

Each card has a set of information registers

##### Micro SD Memory Card Registers

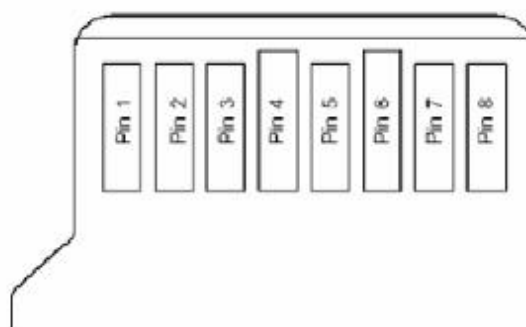
Name	Width	Description
CID	128	Card identification number: individual card number for identification.
RCA	16	Relative card address: local system address of a card dynamically suggested by the card and approved by the host during initialization
CSD	128	Card specific data: information about the card operation conditions.
SCR	64	SD Configuration Register: information about the Micro SD Card's special feature capabilities.
OCR	32	Operation Condition Register

The host may reset the cards by switching the power supply off and on again. The card has its own power-on detection circuitry which puts the card into an idle state after the power-on. The card can also be reset by sending the GO\_IDLE (CMD0) command.

---

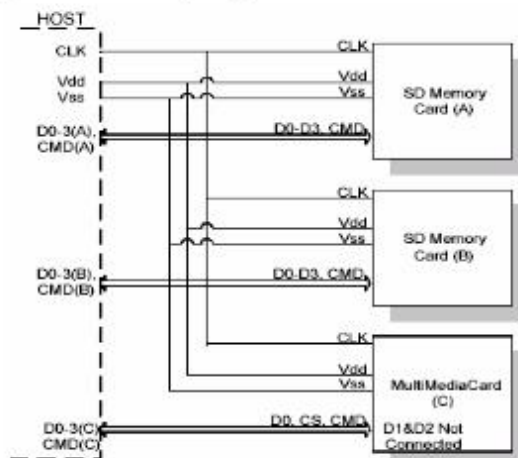
 Micro SDSC / SDHC / SDXC
 

---

**Micro SD memory Card Pin Assignment**

**Micro SD memory Card contact Area**
**4.2 SD Bus Topology**

The SD bus has six communication lines and three supply lines:

- **CMD:** Command is bi-directional signal. (Host and card drivers are operating in push pull mode.)
- **DAT0-3:** Data lines are bi-directional signals. (Host and card drivers are operating in push pull mode.)
- **CLK:** Clock is a host to cards signal. (CLK operates in push pull mode.)
- **VDD:** VDD is the power supply line for all cards.
- **VSS [1:2]:** VSS are two ground lines.
- The following figure shows the bus topology of several cards with one host in SD Bus mode.


**Micro SD Memory Card System Bus Topology**

## Micro SDSC / SDHC / SDXC

During the initialization process, commands are sent to each card individually, allowing the application to detect the cards and assign logical addresses to the physical slots. Data is always sent to each card individually. However, to simplify the handling of the card stack, after initialization, all commands may be sent concurrently to all cards.

Addressing information is provided in the command packet.

The Micro SD Bus allows dynamic configuration of the number of data lines. After power-up, by default, the Micro SD Memory Card will use only DAT0 for data transfer. After initialization, the host can change the bus width (number of active data lines). This feature allows an easy trade off between hardware cost and system performance.

### 4.2.1 Power Protection

Card can be inserted into or removed from the bus without damage. If one of the supply pins (VDD or Vss) is not connected properly, then the current is drawn through a data line to supply the card.

Data transfer operations are protected by CRC codes; therefore, any bit changes induced by card insertion and removal can be detected by the Micro SD bus master. The inserted card must be properly reset also when CLK carries a clock frequency fpp.

If the hot insertion feature is implemented in the host, then the host has to withstand a shortcut between VDD and Vss without damage.

### 4.3 SPI Bus Topology

The memory Card SPI interface is compatible with SPI hosts available on the market. As any other SPI device the Micro SD Memory Card SPI channel consists of the following 4 signals:

- 1) CS: Host to card Chip Select signal.
- 2) SCLK: Host to card clock signal.
- 3) Data In: Host to card data signal.
- 4) Data Out: Card to host data signal.

Another SPI common characteristic, which is implemented in the Memory Card as well, is byte transfers. All data tokens are multiples of 8 bit bytes and always byte aligned to the CS signal.

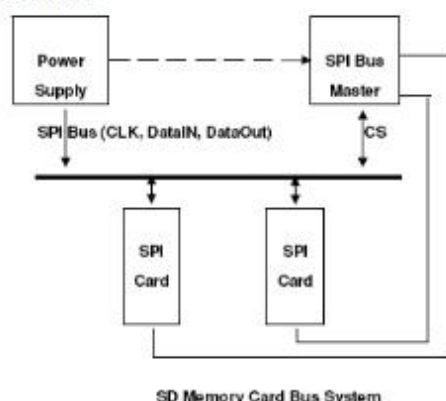
The SPI standard defines the physical link only and not the complete data transfer protocol. In SPI Bus mode, the Micro SD Memory Card uses a subset of the Micro SD Memory Card protocol and command set.

The Micro SD Memory Card identification and addressing algorithms are replaced by a hardware Chip Select (CS) signal.

A card (slave) is selected, for every command, by asserting (active low) the CS signal.

The CS signal must be continuously active for the duration of the SPI transaction (command, response and data). The only exception is card programming time. At this time the host can de-assert the CS signal without affecting the programming process.

The bi-directional CMD and DAT lines are replaced by uni-directional data In and data Out signals. This eliminates the ability of executing commands while data is being read or written. An exception is the multi read/write operations. The Stop Transmission command can be sent during data read. In the multi block write operation a Stop Transmission token is sent as the first byte of the data block.



## Micro SDSC / SDHC / SDXC

### 4.4 Electrical Interface

The power up of the SD Memory Card bus is handled locally in each SD Memory Card and in the bus master.

#### 4.4.1 Operating Conditions

SPI Mode bus operating conditions are identical to SD Memory Card mode bus operating conditions. The CS (chip select) signal timing is identical to the input signal timing.

#### Power Supply Voltage

General					
Parameter	Symbol	Min.	Max.	Unit	Remark
Peak voltage on all lines		-0.3	3.6	V	
All Inputs					
Input Leakage Current		-10	10	µA	
All Outputs					
Output Leakage Current		-10	10	µA	
Power supply Voltage					
Parameter	Symbol	Min.	Max.	Unit	Remark
Supply Voltage for High voltage range	V <sub>DCH</sub>	2.7	3.6	V	
Supply voltage differentials (V <sub>ss1</sub> , V <sub>ss2</sub> )		-0.5	0.5	V	

#### Bus Signal Line Load

The total capacitance CL of the CLK line of the SD Memory Card bus is the sum of the bus master capacitance CHOST, the bus capacitance CBUS itself and the capacitance CCARD of each card connected to this line:

$$CL = CHOST + CBUS + N \cdot CCARD$$

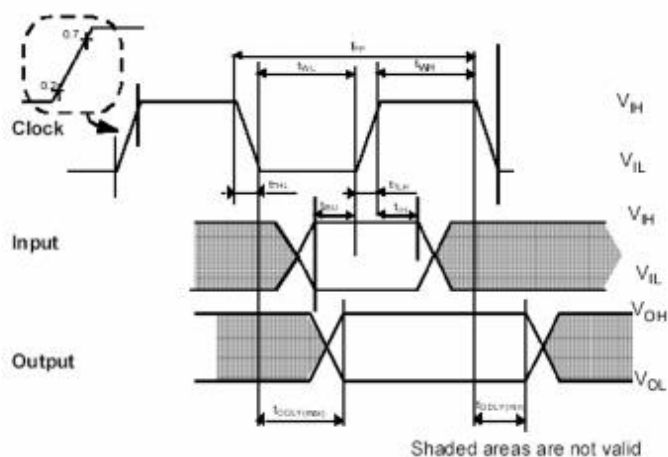
Where N is the number of connected cards. Requiring the sum of the host and bus capacitances not to exceed 30 pF for up to 10 cards, and 40 pF for up to 30 cards, the following values must not be exceeded:

#### Signal Line's Load

Parameter	Symbol	Min.	Max.	Unit	Remark
Pull-up resistance	RCMD	10	100	kΩ	To prevent bus floating
Total Bus capacitance for each signal line	CL		40	pF	Single Card CHOST + CBUS shall not exceed 30 pF
Maximum signal line inductance			16	nH	fpp ≤ 20 MHz
Pull-up resistance inside card (pint)	RDAT3	10	90	kΩ	May be used for card detection

## Micro SDSC / SDHC / SDXC

## 4.4.2 Bus Timing (Default)



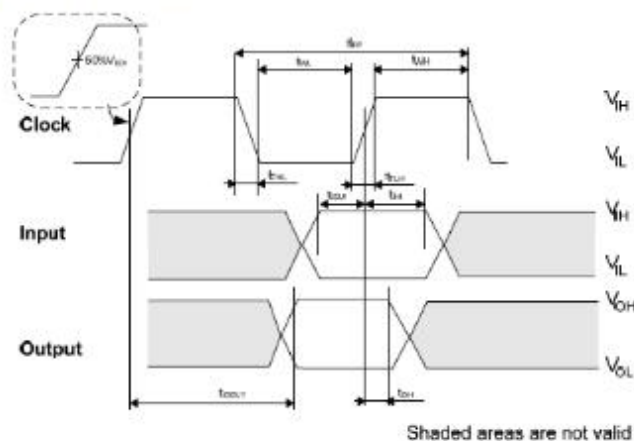
Timing Diagram Data Input, Output Referenced to Clock

## Bus Timing (default mode)

Parameter	Symbol	Min.	Max.	Unit	Remark
Clock CLK (All values are referred to min.(VIH) and max.(VIL))					
Clock Frequency Data Transfer Mode	fPP	0	25	MHz	
Clock Frequency Identification Mode(The low frequency is required for SD Card compatibility)	fCD	0	400	KHz	
Clock Low Time	tWL	10		ns	
Clock High Time	tWH	10		ns	
Inputs CMD,DAT(referenced to CLK)					
Input set-up time	tISU	5		ns	
Input hold time	tIH	5		ns	
Outputs CMD,DAT(referenced to CLK)					
Output delay time during Data Transfer Mode	tODLY		14	ns	
Output delay time during Identification Mode	tODLY		50	ns	

## Micro SDSC / SDHC / SDXC

## 4.4.3 Bus Timing (High-Speed Mode)



Parameter	Symbol	Min	Max.	Unit	Remark
<b>Clock CLK</b> (All values are referred to min ( $V_{IH}$ ) and max ( $V_{IL}$ )).					
Clock frequency Data Transfer Mode	$f_{pp}$	0	50	MHz	$C_{CARD} \leq 10 \text{ pF}$ (1 card)
Clock low time	$t_{WL}$	7		ns	$C_{CARD} \leq 10 \text{ pF}$ (1 card)
Clock high time	$t_{WH}$	7		ns	$C_{CARD} \leq 10 \text{ pF}$ (1 card)
Clock rise time	$t_{TLH}$		3	ns	$C_{CARD} \leq 10 \text{ pF}$ (1 card)
Clock fall time	$t_{THL}$		3	ns	$C_{CARD} \leq 10 \text{ pF}$ (1 card)
<b>Inputs CMD, DAT</b> (referenced to CLK)					
Input set-up time	$t_{SU}$	6		ns	$C_{CARD} \leq 10 \text{ pF}$ (1 card)
Input hold time	$t_H$	2		ns	$C_{CARD} \leq 10 \text{ pF}$

Parameter	Symbol	Min	Max.	Unit	Remark
					(1 card)
<b>Outputs CMD, DAT</b> (referenced to CLK)					
Output Delay time during Data Transfer Mode	$t_{ODLY}$		14	ns	$C_L \leq 40 \text{ pF}$ (1 card)
Output Hold time	$t_{OH}$	2.5		ns	$C_L \geq 15 \text{ pF}$ (1 card)
Total System capacitance for each line <sup>1</sup>	$C_L$		40	pF	1 card

1) In order to satisfy severe timing, host shall drive only one card.

---

 Micro SDSC / SDHC / SDXC
 

---

**4.5 Micro SDSC/SDHC /SDXC Registers**

There is a set of seven registers within the card interface. The OCR, CID, CSD and SCR registers carry the card configuration information. The RCA register holds the card relative communication address for the current session. The card status and SD status registers hold the communication protocol related status of the card.

**4.5.1 Operating Conditions Register (OCR)**

The 32-bit operation conditions register stores the VDD voltage profile of the card. The SD Memory Card is capable of executing the voltage recognition procedure (CMD1) with any standard SD Memory Card host using operating voltages from 2 to 3.6 Volts.

Accessing the data in the memory array, however, requires 2.7 to 3.6 Volts. The OCR shows the voltage range in which the card data can be accessed. The structure of the OCR register is described in under table.

**OCR Register Definition**

OCR Bit	VDD Voltage Window
0-3	Reserved
4	Reserved
5	Reserved
6	Reserved
7	Reserved
8	Reserved
9	Reserved
10	Reserved
11	Reserved
12	Reserved
13	Reserved
14	Reserved
15	2.7-2.8
16	2.8-2.9
17	2.9-3.0
18	3.0-3.1
19	3.1-3.2
20	3.2-3.3
21	3.3-3.4
22	3.4-3.5
23	3.5-3.6
24-29	Reserved
30	Card Capacity Status (CCS)
31	Card power up status bit (busy)

---

 Micro SDSC / SDHC / SDXC
 

---

## 4.5.2 Card Identification (CID) Register

The CID register is 16 bytes long and contains a unique card identification number as shown in the table below. It is programmed during card manufacturing and can not be changed by SD Memory Card hosts. Note that the CID register in the SD Memory Card has a different structure than the CID register in the Multimedia Card

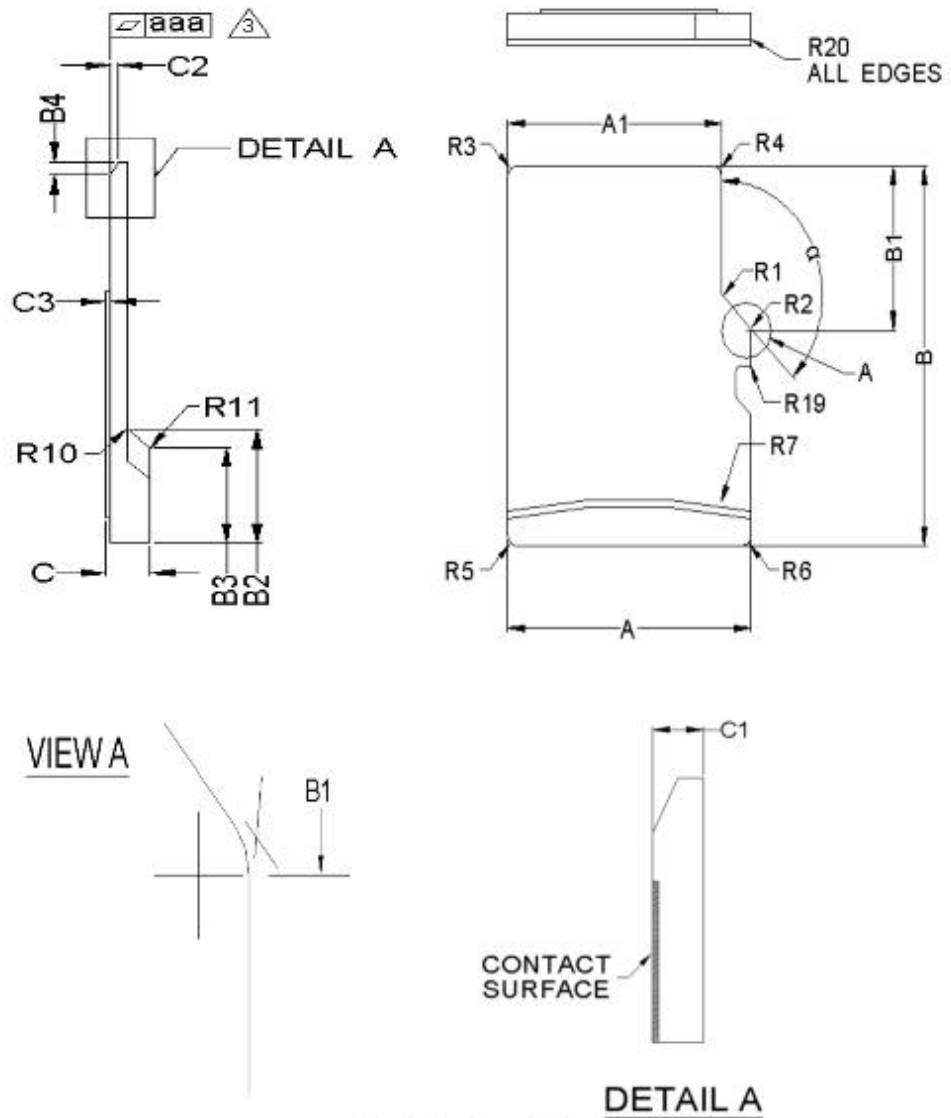
**CID Fields**

Name	Type	Width	CID - Slice	Comments
Manufacturer ID(MID)	Binary	8	[127:120]	The manufacturer IDs are controlled and assigned by the SD Memory Card Association.
OEM/Application ID(OID)	ASC II	16	[119:104]	Identifies the card OEM and/or the card contents. The OID is assigned by the OEM.
Product Name(PNM)	ASC II	40	[103:64]	5ASC II characters long
Product Revision (PRV)	BCD	8	[63:56]	Two binary coded decimal digits
Serial Number (PSN)	Binary	32	[55:24]	32 Bits unsigned integer
Reserved		4	[23:20]	
Manufacturing Data Code(MDT)	BCD	12	[19:8]	Manufacturing date-yyymm(offset from 2000)
CRC7 checksum(CRC)	Binary	7	[7:1]	Calculated
Not used, always '1'		1	[0:0]	



Micro SDSC / SDHC / SDXC

5. Mechanical Form Factor



Mechanical Description: Top View

## Micro SDSC / SDHC / SDXC

SYMBOL	COMMON DIMENSIONS			NOTE
	MIN	NOM	MAX	
A	10.90	11.00	11.10	
A1	9.60	9.70	9.80	
A2	-	3.85	-	BASIC
A3	7.60	7.70	7.80	
A4	-	1.10	-	BASIC
A5	0.75	0.80	0.85	
A6	-	-	8.50	
A7	0.90	-	-	
A8	0.60	0.70	0.80	
A9	0.80	-	-	
A10	1.35	1.40	1.45	
A11	6.50	6.60	6.70	
A12	0.50	0.55	0.60	
A13	0.40	0.45	0.50	
B	14.90	15.00	15.10	
B1	6.30	6.40	6.50	
B2	1.64	1.84	2.04	
B3	1.30	1.50	1.70	
B4	0.42	0.52	0.62	
B5	2.80	2.90	3.00	
B6	5.50	-	-	
B7	0.20	0.30	0.40	
B8	1.00	1.10	1.20	
B9	-	-	9.00	
B10	7.80	7.90	8.00	
B11	1.10	1.20	1.30	
B12	3.60	3.70	3.80	
B13	2.80	2.90	3.00	
B14	8.20	-	-	
B15	-	-	6.20	
C	0.90	1.00	1.10	
C1	0.60	0.70	0.80	
C2	0.20	0.30	0.40	
C3	0.00	-	0.15	
D1	1.00	-	-	
D2	1.00	-	-	
D3	1.00	-	-	
R1	0.20	0.40	0.60	
R2	0.20	0.40	0.60	
R3	0.70	0.80	0.90	
R4	0.70	0.80	0.90	
R5	0.60	0.80	0.90	
R6	0.60	0.80	0.90	
R7	29.50	30.00	30.50	
R10	-	0.20	-	
R11	-	0.20	-	
R17	0.10	0.20	0.30	
R18	0.20	0.40	0.60	
R19	0.05	-	0.20	
R20	∅	-	0.15	
α	133°	135°	137°	
aaa			0.10	

## Notes :

1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ASME Y14.5M - 1994.

2. DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS.

∆ COPLANARITY IS ADDITIVE TO C1 MAX THICKNESS.

∆ ALL EDGES SHALL NOT BE SHARP AS TESTED PER UL1439 "Test for Sharpness of Edges on Equipment."

5. Refer to Appendix E about test method of warpage.

## Micro SD Package : Dimensions