

**ARPA LÁSER MIDI**

**JUAN CAMILO ESTEFAN ANGEL**

**UNIVERSIDAD EAFIT  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
INGENIERÍA DE SISTEMAS  
MEDELLÍN, COLOMBIA  
2010**

**ARPA LÁSER MIDI**

**JUAN CAMILO ESTEFAN ANGEL**

**TRABAJO DE GRADO**

**GERMÁN GUZMÁN  
ASESOR**

**UNIVERSIDAD EAFIT  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
INGENIERÍA DE SISTEMAS  
MEDELLÍN, COLOMBIA  
2010**

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

**Medellín, 18 de Mayo de 2010**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecimientos especiales a Lucas Álvarez por todo su apoyo, ayuda y dedicación en el proyecto, principalmente por su gran aporte en la parte electrónica.

Muchas gracias a Conrado Acosta por su excelente labor en la construcción del cuerpo del Arpa Láser MIDI en madera.

A Germán Guzmán, Edwin Giraldo y Hugo Angel por todo el apoyo brindado durante el desarrollo del proyecto.

A mi padre, a mi madre y a mi hermano por todo el apoyo que me brindaron durante la planeación y elaboración de todo el proyecto.

Muchas gracias a Dios y a todas las personas que de alguna u otra forma estuvieron involucradas en el proyecto y me encaminaron por el buen rumbo para su correcto desarrollo.

## CONTENIDO

|   |    |
|---|----|
| LISTA DE FIGURAS .....                                | 7  |
| LISTA DE TABLAS .....                                 | 8  |
| LISTA DE ANEXOS .....                                 | 9  |
| GLOSARIO .....  | 10 |
| 1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....                       | 12 |
| 2. OBJETIVOS .....                                    | 13 |
| 2.1. Objetivo General.....                            | 13 |
| 2.2. Objetivos Específicos.....                       | 13 |
| 3. ALCANCE Y PRODUCTOS .....                          | 14 |
| 4. BENEFICIARIOS .....                                | 16 |
| 5. IMPORTANCIA DEL PROBLEMA DENTRO DE LA CARRERA..... | 17 |
| 6. METODOLOGÍA .....                                  | 18 |
| 7. MARCO TEÓRICO .....                                | 19 |
| 7.1. Antecedentes.....                                | 19 |
| 7.2. Conceptos importantes .....                      | 20 |
| 7.2.1. Microcontrolador .....                         | 20 |
| 7.2.2. Sensores.....                                  | 22 |
| 7.2.3. Láseres .....                                  | 26 |
| 7.2.4. Comprendiendo cómo trabaja MIDI .....          | 29 |
| 8. ARQUITECTURA DEL ARPA LÁSER MIDI.....              | 32 |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 8.1.   | Cuerpo.....   | 33 |
| 8.2.   | Parte Óptica.....   | 33 |
| 8.3.   | Parte Sensorial .....                                     | 34 |
| 8.4.   | Parte Microcontrolador - Software .....                   | 35 |
| 8.5.   | Registro musical del Arpa Láser MIDI.....                 | 37 |
| 8.6.   | Aplicaciones del Arpa Láser MIDI.....                     | 38 |
| 9.     | CONSTRUCCIÓN DEL ARPA LÁSER MIDI.....                     | 39 |
| 9.1.   | Ensamble de partes.....                                   | 40 |
| 9.1.1. | Cuerpo General .....                                      | 40 |
| 9.1.2. | Caja de láser y circuitos .....                           | 42 |
| 9.1.3. | Alimentación de los láser .....                           | 43 |
| 9.1.4. | Cableado .....  | 44 |
| 9.1.5. | Sensores.....   | 45 |
| 9.2.   | Algoritmo para el funcionamiento del Arpa Láser MIDI..... | 46 |
| 9.2.1. | Pseudocódigo .....  | 47 |
| 9.3.   | Grabando el código en el PIC para el Arpa Láser MIDI..... | 47 |
| 10.    | MANUAL DEL USUARIO.....                                   | 48 |
| 11.    | CONCLUSIONES .....  | 49 |
| 12.    | BIBLIOGRAFÍA.....   | 50 |
| 13.    | CIBERGRAFÍA.....  | 51 |
| 14.    | PRESUPUESTO.....  | 52 |
| 15.    | OBSERVACIONES.....  | 53 |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Esquema General Arpa Láser MIDI .....                            | 14 |
| Figura 2. Diagrama Microcontrolador.....                                   | 20 |
| Figura 3. Mensaje MIDI (Nota encendida) .....                              | 30 |
| Figura 4. Mensaje MIDI (Nota apagada).....                                 | 31 |
| Figura 5. Partes del Arpa Láser MIDI.....                                  | 32 |
| Figura 6. Esquema electrónico: Parte Sensorial.....                        | 35 |
| Figura 7. Esquema electrónico: Parte Microcontrolador - Software .....     | 36 |
| Figura 8. Notas del Arpa Láser MIDI.....                                   | 37 |
| Figura 9. Bosquejo Inicial Arpa Láser MIDI.....                            | 39 |
| Figura 10. Modelo Final Arpa Láser MIDI .....                              | 40 |
| Figura 11. Medidas Cuerpo del Arpa Láser .....                             | 41 |
| Figura 12. Caja de láser y circuitos .....                                 | 42 |
| Figura 13. Caja de láser y circuitos ensamblada en el Arpa Láser MIDI..... | 43 |
| Figura 14. Esquema electrónico: Alimentación de los láser.....             | 44 |
| Figura 15. Fotodiodo adherido a figura plástica .....                      | 45 |
| Figura 16. Cronograma .....  | 54 |

## LISTA DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Tipos de sensores.....                                     | 24 |
| Tabla 2. Cuerdas Arpa Láser MIDI .....                              | 30 |
| Tabla 3. Apuntador Láser .....                                      | 33 |
| Tabla 4. Fotodiodo o Receptor Infrarrojo y Resistencia de 100K..... | 34 |
| Tabla 5. Microcontrolador PIC 16F887 y Conector MIDI .....          | 36 |
| Tabla 6. Presupuesto Final .....                                    | 52 |



## LISTA DE ANEXOS

|  |    |
|--|----|
| Anexo A. Cronograma .....                              | 54 |
| Anexo B. Código escrito en C del Arpa Láser MIDI ..... | 55 |
| Anexo C. Esquemático General Arpa Láser MIDI.....      | 60 |
| Anexo D. Circuito Electrónico Impreso #1 .....         | 61 |
| Anexo E. Circuito Electrónico Impreso #2.....          | 62 |
| Anexo F. Fotos Arpa Láser MIDI.....                    | 63 |
| Anexo G. Fotos Arpa Láser MIDI .....                   | 64 |

## GLOSARIO

**MIDI**<sup>1</sup>: *MIDI*, Musical Instrument Digital Interface, es un protocolo industrial estándar que permite a los computadores, sintetizadores, secuenciadores, controladores y otros dispositivos musicales electrónicos comunicarse y compartir información para la generación de sonidos. Esta información define diversos tipos de datos como números que pueden corresponder a notas particulares, números de patches de sintetizadores o valores de controladores. Gracias a esta simplicidad, los datos pueden ser interpretados de diversas maneras y utilizados con fines diferentes a la música. El protocolo incluye especificaciones complementarias de hardware y software.

**PIC**<sup>2</sup>: *PIC*, Peripheral Interface Controller, son una familia de microcontroladores tipo RISC fabricados por Microchip Technology Inc. y derivados del PIC1650, originalmente desarrollado por la división de microelectrónica de General Instrument. Estos microcontroladores pueden ser programados para seguir un conjunto de instrucciones y así poder establecer una comunicación software-hardware en un determinado dispositivo.

**PATCH**: *Patch*, en términos de música informática, hace referencia a un registro de sonido que lleva asociado un conjunto de notas. De esta forma se establecen los diferentes instrumentos en un software que se interpretan por medio de MIDI.

**OHMIO**<sup>3</sup> / **OHM**: Es la unidad derivada de resistencia eléctrica en el Sistema Internacional de Unidades. Su nombre se deriva del apellido del físico alemán Georg Simon Ohm, autor de la Ley de Ohm.

**DJ**<sup>4</sup> / **Disc jockey**: Disc-jockey, Dj, deejay o pinchadiscos es el profesional técnico encargado ya sea de ambientar y poner la música dentro de un establecimiento abierto o cerrado. También es el técnico profesional que cuenta con los conocimientos básicos de la música popular para producción musical.

---

<sup>1</sup> WIKIMEDIA FOUNDATION, INC. Wikipedia, La enciclopedia libre. MIDI [online]. URL: <http://es.wikipedia.org/wiki/MIDI>

<sup>2</sup> WIKIMEDIA FOUNDATION, INC. Wikipedia, La enciclopedia libre. Microcontrolador PIC [online]. URL: [http://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador\\_PIC](http://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador_PIC)

<sup>3</sup> WIKIMEDIA FOUNDATION, INC. Wikipedia, La enciclopedia libre. Ohmio [online]. URL: <http://es.wikipedia.org/wiki/Ohmio>

<sup>4</sup> WIKIMEDIA FOUNDATION, INC. Wikipedia, La enciclopedia libre. DJ [online]. URL: <http://es.wikipedia.org/wiki/Dj>

**New Age**<sup>5</sup>: *Música New Age*, es un género musical vagamente definido que generalmente es melódicamente suave, a menudo instrumental o con voces etéreas y suele incorporar grabaciones tomadas de la naturaleza. Es una música meditativa, generalmente de tempo lento, muchas veces relacionada con las creencias de la Nueva Era, que invita al oyente a sumergirse en sentimientos de armonía, paz interior, amor a la vida, a Gaia o para redescubrirse uno mismo como parte integrante del universo.

**Jean Michel Jarre**: Es un compositor e intérprete de música nueva era, electrónica, ambient y chillout. Originario de Francia e hijo del famoso músico Maurice Jarre. Entre sus obras más reconocidas están: Oxygene, Rendez Vous, Magnetic Fields, Zoolook. Jean Michel ha entrado numerosas veces al libro de los Guinness Réconds con logros como la mayor asistencia a un concierto o la única venta del master de un disco de su autoría.

---

<sup>5</sup> WIKIMEDIA FOUNDATION, INC. Wikipedia, La enciclopedia libre. New Age [online]. URL: [http://es.wikipedia.org/wiki/New\\_age](http://es.wikipedia.org/wiki/New_age)

## 1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La música y la computación cada día son mayores aliados, gracias a todas las posibilidades que la tecnología le brinda, llegando incluso a crearse géneros exclusivamente dados por este matrimonio, como es el caso de la música electrónica o el New Age. Este apoyo se ha visto reflejado, en el paso de la música análoga a la digital, en la ayuda de generar música con tiempos perfectos y en secuencias que eran difíciles de hacer por un ser humano. Muchos de estos beneficios han sido explotados en la música contemporánea, especialmente por los DJs que generan secuencias pre-programadas para sus shows, limitándose a cambios de ritmos, evitando la parte interpretativa.

Por otro lado, los instrumentos musicales generalmente son interpretados táctilmente, por tanto es necesaria la interacción física con el mismo para poder generar sonidos.

Nace este proyecto con la pretensión de innovar en el campo de la escena musical, donde gracias a los avances de la tecnología se puede hacer un instrumento que no necesite afinaciones y capaz de generar múltiples sonidos gracias al uso de medios digitales. Además de ofrecer facilidad en su transporte y generar que la parte interpretativa del músico en la escena sea más visual y llamativa, de manera que el espectador pueda tener una experiencia íntima y grata del espectáculo ofrecido.

Una de estas formas de expresión musical se desarrollaría con un instrumento que al interpretarse asombre al espectador por su elemento visual y además no tenga una interacción directa con el mismo dando origen al propósito de este proyecto que se resumen en la creación de una arpa láser. Ésta está basada en el concepto de espectáculo del músico francés Jean Michel Jarre quien en sus shows hace uso de diferentes elementos visuales, como son los láseres, las luces, los juegos pirotécnicos e incluso instrumentos musicales basados en esta concepción, siendo uno de ellos el Laser Harp , principal inspiración para la realización de este producto.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo General**

Elaborar un instrumento musical con forma de arpa donde cada cuerda equivale a un haz de luz láser, siendo capaz de producir sonidos una vez interrumpido cada cuerda láser haciendo uso de la interfaz MIDI.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Diseñar y elaborar un sistema que envíe señales MIDI por medio de un PIC convencional.
- Diseñar y elaborar un sistema que interprete la interrupción de un láser como una señal MIDI, de manera que se comunique con un computador o con un instrumento, éste sea capaz de producir sonidos de cualquier índole (piano, batería, trompeta, sonidos especiales, etc).
- Diseñar y elaborar un dispositivo en forma de arpa de bajo costo que interprete notas musicales de manera digital

### 3. ALCANCE Y PRODUCTOS

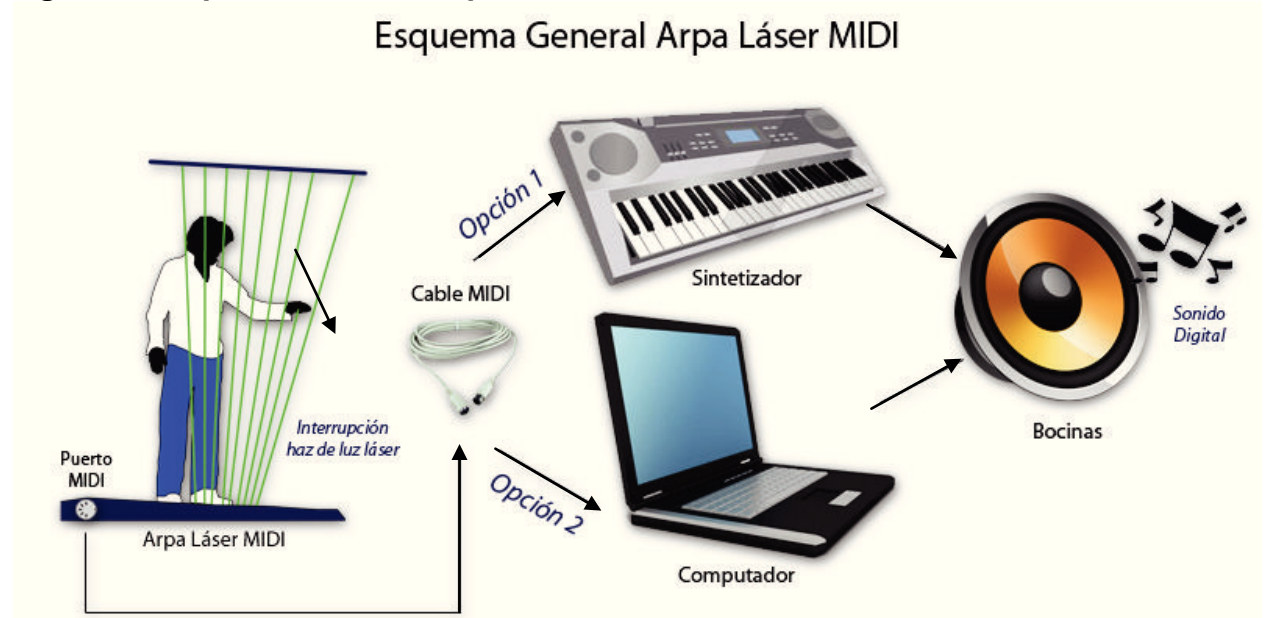
El proyecto tiene como alcance la elaboración de un instrumento musical en forma de arpa capaz de producir sonidos de manera digital, donde cada cuerda equivaldría a un haz de luz láser.

Una vez que el usuario interrumpa determinado haz de luz láser, el dispositivo generará una señal la cual será interpretada por un dispositivo compatible con MIDI, ya sea un computador o un sintetizador y este a su vez reproducirá el sonido de la nota ejecutada.

Ya que el dispositivo trabaja con el estándar MIDI, el usuario podrá personalizar los sonidos que se generarán al tocar las notas a su gusto. Así pues el arpa láser podrá sonar como un piano, una batería, incluso como un acordeón haciendo uso de un computador o sintetizador compatible. Este mecanismo abre gran cantidad de posibilidades que el arpa puede ofrecer en su interpretación gracias al uso de MIDI.

A continuación se explica mediante un esquema el funcionamiento general del Arpa Láser MIDI:

**Figura 1. Esquema General Arpa Láser MIDI**



Fuente: Arpa Láser MIDI. ESTEFAN ANGEL, Juan Camilo, 2010.

Como se puede apreciar en el esquema, el Arpa Láser tiene un puerto de salida MIDI el cual está conectado a un computador o un sintetizador que se encargará de producir los sonidos según las señales que envíe el arpa. De esta forma se comprende que el Arpa Láser no tiene un sonido propio sino que es como se conoce en tecnología, un “controlador MIDI”, que sólo se encarga de enviar señales MIDI para que otro dispositivo lo interprete.

#### **4. BENEFICIARIOS**

Los beneficiarios del presente proyecto son la Universidad EAFIT, estudiantes, aficionados y profesionales en el área de la música.

La Universidad EAFIT podría hacer uso del arpa en diferentes eventos con el fin de promocionar la carrera de Ingeniería de Sistemas. Por ejemplo el arpa láser en exhibición en el evento “Experiencia EAFIT” sería ideal para mostrarlo a los estudiantes que aspiran entrar a la universidad ya que fuera de ser llamativo e interesante, da una visión integral de la materialización de gran cantidad de asignaturas vistas durante la carrera de Ingeniería de Sistemas, especialmente de Hardware y Software.

Igualmente, los estudiantes y aficionados de música e incluso los mismos profesionales en esta área podrían sacar provecho de este instrumento, brindando un espectáculo más visual en sus actos y, por qué no, usarlo en sus nuevas producciones musicales.



## **5. IMPORTANCIA DEL PROBLEMA DENTRO DE LA CARRERA**

El proyecto reúne gran conocimiento de las materias cursadas durante la carrera, pues fuera de la programación software que se requiere para realizar la interpretación musical por medio de MIDI, se hace uso de hardware como son los láser y el PIC, aplicando así los conocimientos adquiridos en Control Digital, Conmutación, Lenguajes de Programación, Compiladores, Telemática, etc.

## 6. METODOLOGÍA

Debido a la poca documentación sobre la elaboración de este tipo de instrumentos se decidió optar por una metodología que dejara explorar libremente los fenómenos, experimentar con ellos basándose en la lógica empírica y tratar de llegar a buenos resultados mediante estos experimentos.

De esta forma se definió el uso del método empírico-analítico en su rama experimental que ha sido uno de los que más resultados han dado. Aplica la observación de fenómenos, que en un primer momento es sensorial. Con el pensamiento abstracto se elaboran las hipótesis y se diseña el experimento para poder reproducir el objeto de estudio, controlando así el fenómeno y llegar a una posible hipótesis válida.

En el **método empírico experimental**<sup>6</sup> el investigador interviene sobre el objeto de estudio modificando a éste directa o indirectamente para crear las condiciones necesarias que permitan revelar sus características fundamentales y sus relaciones esenciales bien sea:

- Aislando al objeto y las propiedades que estudia de la influencia de otros factores.
- Reproduciendo el objeto de estudio en condiciones controladas.
- Modificando las condiciones bajo las cuales tiene lugar el proceso o fenómeno que se estudia.

Así, los datos son sacados de la manipulación sistemática de variables en un experimento (ver método hipotético deductivo, el cual a su vez también se considera como un tipo de método empírico fuera del método experimental por su relevancia y eficacia). Una diferencia clara con el método empírico en general es que éste además trata de considerar los errores de modo que una inferencia pueda ser hecha en cuanto a la causalidad del cambio observado (carácter auto-correctivo).

|                            |                                   |
|----------------------------|-----------------------------------|
| Tipo de investigación:     | Empírico - Experimental           |
| Campo de investigación:    | Ciencias de la computación        |
| Línea de investigación:    | Construcción de software/hardware |
| Temática de investigación: | Arpa Láser MIDI                   |

---

<sup>6</sup> WIKIMEDIA FOUNDATION, INC. Wikipedia, La enciclopedia libre. Método Empírico Analítico [online].  
URL:[http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9todo\\_emp%C3%ADrico-anal%C3%ADtico](http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9todo_emp%C3%ADrico-anal%C3%ADtico)

## 7. MARCO TEÓRICO

### 7.1. Antecedentes

La música ha tenido diversos cambios a través de los tiempos. Desde sus inicios el hombre ha usado diferentes elementos para poder producir sonidos, incluso partes de su mismo cuerpo como son sus palmas, pies y voz. Al unir todos estos elementos e interpretar secuencias y ritmos poco a poco fueron evolucionando hasta producir la música como la conocemos hoy en día.

Durante este proceso, el hombre se ha ayudado de elementos de la naturaleza para crear instrumentos que propicien sonidos agradables a la escucha, ejemplo de ello son las flautas o tambores que con simples elementos que con un tubo de bambú o el uso de piedras se podrían construir.

Poco a poco el hombre fue perfeccionando esos instrumentos utilizando su habilidad mental para mezclar diferentes elementos y crear instrumentos cada vez más sofisticados como son la lira, el arpa, la guitarra y mucho después (siglo 16) el piano que es uno de los mejores instrumentos musicales jamás creados.

Sin embargo no fue hasta principios de 1900 donde los primeros instrumentos musicales electrónicos empezaron a construirse. Podría catalogarse el Telharmonium como el primer instrumento electrónico sacado a la luz pública, cuyas medidas eran 60 pies de largo y pesaba cerca de 200 toneladas. Más adelante en 1919 el físico y músico ruso Lev Sergeivitch Termen inventó el Theremin que es un instrumento conformado por 2 antenas. Se ejecuta acercando y alejando la mano de cada una de las antenas correspondientes, sin llegar a tocarlas.

La música electrónica no fue popular sino hasta mediados de 1960 donde el músico Walter Carlos compuso la música para la entonces taquillera película “La Naranja Mecánica” y los instrumentos electrónicos empezaron a evolucionar rápidamente y producirse masivamente.

Es importante mencionar que instrumentos como los sintetizadores ARP y Moog marcaron un antes y después de la música electrónica. Eran sintetizadores analógicos que tenían un gran banco de sonidos y que permitían personalizarse fácilmente gracias a todos los modulares que traían. Estos dispositivos han sido usados en importantes álbumes de músicos como Jean Michel Jarre, Pink Floyd, Kraftwerk, Rick Wakeman entre otros.

Los instrumentos musicales electrónicos siguieron su evolución pero quizá una de las más importantes fue en 1983 cuando se fabricó el primero dispositivo en soportar MIDI y fue el sintetizador Yamaha DX7. Fue el primero en ser netamente digital y al soportar este protocolo permitía la comunicación entre dispositivos que soportaran esta característica. Su éxito ha sido tan grande que este instrumento aún se usa y la tecnología MIDI aún está vigente en la industria musical.

El presente proyecto usa el protocolo MIDI para poder comunicarse con otros dispositivos y así producir sonidos de cualquier índole siguiendo con los estándares en música digital de hoy día.

## 7.2. Conceptos importantes

Durante el desarrollo del documento hay ciertos conceptos que son de alto interés tener claros para poder entender a cabalidad todo el proceso argumentativo del mismo. A continuación se presentan dichos conceptos.

### 7.2.1. Microcontrolador

Es un circuito integrado programable con la capacidad de ejecutar órdenes almacenadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales que al trabajar en conjunto permite realizar diversas tareas. Estas tareas se ayudan de dispositivos de entrada que son procesadas según las órdenes que tenga el programa del microcontrolador y sus resultados se pueden ilustrar mediante dispositivos de salida.

**Figura 2. Diagrama Microcontrolador**



Fuente: Arpa Láser MIDI. ESTEFAN ANGEL, Juan Camilo, 2010.

### ***Características de los microcontroladores***<sup>7</sup>

Son diseñados para reducir el costo económico y el consumo de energía de un sistema en particular. Por eso el tamaño de la unidad central de procesamiento, la cantidad de memoria y los periféricos incluidos dependerán de la aplicación. El control de un electrodoméstico sencillo como una batidora, utilizará un procesador muy pequeño (4 u 8 bit) por que sustituirá a un autómata finito. En cambio un reproductor de música y/o vídeo digital (mp3 o mp4) requerirá de un procesador de 32 bit o de 64 bit y de uno o más Códec de señal digital (audio y/o vídeo). El control de un sistema de frenos ABS (Antilock Brake System) se basa normalmente en un microcontrolador de 16 bit, al igual que el sistema de control electrónico del motor en un automóvil.

Los microcontroladores representan la inmensa mayoría de los chips de computadoras vendidos, sobre un 50% son controladores "simples" y el restante corresponde a DSPs más especializados. Pueden encontrarse en casi cualquier dispositivo electrónico como automóviles, lavadoras, hornos microondas, teléfonos, etc.

Un microcontrolador difiere de una CPU normal, debido a que es más fácil convertirla en una computadora en funcionamiento, con un mínimo de chips externos de apoyo. La idea es que el chip se coloque en el dispositivo, enganchado a la fuente de energía y de información que necesite, y eso es todo. Un microprocesador tradicional no le permitirá hacer esto, ya que espera que todas estas tareas sean manejadas por otros chips. Hay que agregarle los módulos de entrada/salida (puertos) y la memoria para almacenamiento de información.

Por ejemplo, un microcontrolador típico tendrá un generador de reloj integrado y una pequeña cantidad de memoria RAM y ROM/EPROM/EEPROM/FLASH, significando que para hacerlo funcionar, todo lo que se necesita son unos pocos programas de control y un cristal de sincronización. Los microcontroladores disponen generalmente también de una gran variedad de dispositivos de entrada/salida, como convertidores de analógico a digital, temporizadores, UARTs y buses de interfaz serie especializados, como I2C y CAN. Frecuentemente, estos dispositivos integrados pueden ser controlados por instrucciones de procesadores especializados. Los modernos microcontroladores frecuentemente incluyen un lenguaje de programación integrado, como el BASIC que se utiliza bastante con este propósito.

Los microcontroladores negocian la velocidad y la flexibilidad para facilitar su uso. Debido a que se ocupa bastante espacio en el chip para incluir funcionalidad, como los dispositivos de entrada/salida o la memoria que incluye el microcontrolador, se ha de prescindir de cualquier otra circuitería.

---

<sup>7</sup> WIKIMEDIA FOUNDATION, INC. Wikipedia, La enciclopedia libre. Microcontrolador [online]. URL: <http://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador>

### ***Diferencia entre microcontrolador y microprocesador***<sup>8</sup>

Es muy habitual confundir los términos de microcontrolador y microprocesador.

Un microcontrolador es, como ya se ha comentado previamente, un sistema completo, con unas prestaciones limitadas que no pueden modificarse y que puede llevar a cabo las tareas para las que ha sido programado de forma autónoma.

Un microprocesador, en cambio, es simplemente un componente que conforma el microcontrolador, que lleva a cabo ciertas tareas y que, en conjunto con otros componentes, forman un microcontrolador. A modo de resumen, el primero es un sistema autónomo e independiente, mientras que el segundo es una parte, cabe decir que esencial, que forma parte de un sistema mayor.

Uno de los microcontroladores más usados en el mercado colombiano son los denominados PIC que son creados por la empresa Microchips. En este proyecto se usó este tipo de microcontrolador.

### **7.2.2. Sensores**<sup>9</sup>

Un sensor es un dispositivo capaz de medir magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas. Las variables de instrumentación pueden ser por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, pH, etc. Una magnitud eléctrica puede ser una resistencia eléctrica (como en una RTD), una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad), una Tensión eléctrica (como en un termopar), una corriente eléctrica (como en un fototransistor), etc.

Un sensor se diferencia de un transductor en que el sensor está siempre en contacto con la variable de instrumentación con lo que puede decirse también que es un dispositivo que aprovecha una de sus propiedades con el fin de adaptar la señal que mide para que la pueda interpretar otro dispositivo. Como por ejemplo el termómetro de mercurio que aprovecha la propiedad que posee el mercurio de dilatarse o contraerse por la acción de la temperatura. Un sensor también puede decirse que es un dispositivo que convierte una forma de energía en otra. Áreas de aplicación de los sensores: Industria automotriz, Industria aeroespacial, Medicina, Industria de manufactura, Robótica, etc.

---

<sup>8</sup> UNICROM, Electrónica. Microcontroladores [online]. URL: [http://www.unicrom.com/Tut\\_PICs1.asp](http://www.unicrom.com/Tut_PICs1.asp)

<sup>9</sup> WIKIMEDIA FOUNDATION, INC. Wikipedia, La enciclopedia libre. Sensores [online]. URL: <http://es.wikipedia.org/wiki/Sensores>

Los sensores pueden estar conectados a un computador para obtener ventajas como son el acceso a una base de datos, la toma de valores desde el sensor, etc

### ***Características de un sensor***

Entre las características técnicas de un sensor destacan las siguientes:

- Rango de medida: dominio en la magnitud medida en el que puede aplicarse el sensor.
- Precisión: es el error de medida máximo esperado.
- Offset o desviación de cero: valor de la variable de salida cuando la variable de entrada es nula. Si el rango de medida no llega a valores nulos de la variable de entrada, habitualmente se establece otro punto de referencia para definir el offset.
- Linealidad o correlación lineal.
- Sensibilidad de un sensor: relación entre la variación de la magnitud de salida y la variación de la magnitud de entrada.
- Resolución: mínima variación de la magnitud de entrada que puede apreciarse a la salida.
- Rapidez de respuesta: puede ser un tiempo fijo o depender de cuánto varíe la magnitud a medir. Depende de la capacidad del sistema para seguir las variaciones de la magnitud de entrada.
- Derivas: son otras magnitudes, aparte de la medida como magnitud de entrada, que influyen en la variable de salida. Por ejemplo, pueden ser condiciones ambientales, como la humedad, la temperatura u otras como el envejecimiento (oxidación, desgaste, etc.) del sensor.
- Repetitividad: error esperado al repetir varias veces la misma medida.

Un sensor es un tipo de transductor que transforma la magnitud que se quiere medir o controlar, en otra, que facilita su medida. Pueden ser de indicación directa (e.g. un termómetro de mercurio) o pueden estar conectados a un indicador (posiblemente a través de un convertidor analógico a digital, un computador y un display) de modo que los valores detectados puedan ser leídos por un humano.

Por lo general, la señal de salida de estos sensores no es apta para su lectura directa y a veces tampoco para su procesado, por lo que se usa un circuito de acondicionamiento, como por ejemplo un puente de Wheatstone, amplificadores y filtros electrónicos que adaptan la señal a los niveles apropiados para el resto de la circuitería.

### ***Resolución y precisión de un sensor***

La resolución de un sensor es el menor cambio en la magnitud de entrada que se aprecia en la magnitud de salida. Sin embargo, la precisión es el máximo error esperado en la medida.

La resolución puede ser de menor valor que la precisión. Por ejemplo, si al medir una distancia la resolución es de 0,01 mm, pero la precisión es de 1 mm, entonces pueden apreciarse variaciones en la distancia medida de 0,01 mm, pero no puede asegurarse que haya un error de medición menor a 1 mm. En la mayoría de los casos este exceso de resolución conlleva a un exceso innecesario en el coste del sistema. No obstante, en estos sistemas, si el error en la medida sigue una distribución normal o similar, lo cual es frecuente en errores accidentales, es decir, no sistemáticos, la repetitividad podría ser de un valor inferior a la precisión.

Sin embargo, la precisión no puede ser de un valor inferior a la resolución, pues no puede asegurarse que el error en la medida sea menor a la mínima variación en la magnitud de entrada que puede observarse en la magnitud de salida.

### ***Tipos de sensores***

En la siguiente tabla se indican algunos tipos y ejemplos de sensores electrónicos.

**Tabla 1. Tipos de sensores**

| <b>Magnitud</b>                     | <b>Transductor</b>                            | <b>Característica</b> |
|-------------------------------------|---|-----------------------|
| <b>Posición lineal o angular</b>    | Potenciómetro                                 | Analógica             |
|                                     | Encoder                                       | Digital               |
| <b>Desplazamiento y deformación</b> | Transformador diferencial de variación lineal | Analógica             |
|                                     | Galga extensiométrica                         | Analógica             |
|                                     | Magnetostrictivos                             | A/D                   |
|                                     | Magnetorresistivos                            | Analógica             |
|                                     | LVDT  | Analógica             |
| <b>Velocidad lineal y angular</b>   | Dinamo tacométrica                            | Analógica             |
|                                     | Encoder                                       | Digital               |
|                                     | Detector inductivo                            | Digital               |
|                                     | Servo-inclinómetros                           | A/D                   |
|                                     | RVDT  | Analógica             |
|                                     | Giróscopo                                     |                       |
| <b>Aceleración</b>                  | Acelerómetro                                  | Analógico             |
|                                     | Servo-acelerómetros                           |                       |
| <b>Fuerza y par (deformación)</b>   | Galga extensiométrica                         | Analógico             |
|                                     | Triaxiales                                    | A/D                   |
| <b>Presión</b>                      | Membranas                                     | Analógica             |
|                                     | Piezoeléctricos                               | Analógica             |
|                                     | Manómetros Digitales                          | Digital               |
|                                     |   |                       |
| <b>Caudal</b>                       | Turbina                                       | Analógica             |
|                                     | Magnético                                     | Analógica             |
| <b>Temperatura</b>                  | Termopar                                      | Analógica             |
|                                     | RTD   | Analógica             |
|                                     | Termistor NTC                                 | Analógica             |
|                                     | Termistor PTC                                 | Analógica             |
|                                     | Bimetal                                       | I/O                   |



| Magnitud                         | Transductor             | Característica        |
|----------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| Sensores de presencia            | Inductivos              | I/O                   |
|                                  | Capacitivos             | I/O                   |
|                                  | Ópticos                 | I/O y Analógica       |
| Sensores táctiles                | Matriz de contactos     | I/O                   |
|                                  | Piel artificial         | Analógica             |
| Visión artificial                | Cámaras de video        | Procesamiento digital |
|                                  | Cámaras CCD o CMOS      | Procesamiento digital |
| Sensor de proximidad             | Sensor final de carrera |                       |
|                                  | Sensor capacitivo       |                       |
|                                  | Sensor inductivo        |                       |
|                                  | Sensor fotoeléctrico    |                       |
| Sensor acústico (presión sonora) | Micrófono               |                       |
| Sensores de acidez               | IsFET                   |                       |
| Sensor de luz                    | Fotodiodo               |                       |
|                                  | Fotorresistencia        |                       |
|                                  | Fototransistor          |                       |
|                                  | Célula fotoeléctrica    |                       |
| Sensores captura de movimiento   | Sensores inerciales     |                       |

Fuente: Arpa Láser MIDI. ESTEFAN ANGEL, Juan Camilo, 2010.

Algunas magnitudes pueden calcularse mediante la medición y cálculo de otras, por ejemplo, la aceleración de un móvil puede calcularse a partir de la integración numérica de su velocidad. La masa de un objeto puede conocerse mediante la fuerza gravitatoria que se ejerce sobre él en comparación con la fuerza gravitatoria ejercida sobre un objeto de masa conocida (patrón).

En el presente proyecto se usaron sensores de luz, más específicamente, receptores infrarrojos que están asociados a la categoría de fotodiodos descrita en la anterior tabla.

Se usaron estos sensores ya que son capaces de detectar longitudes de onda infrarrojas, es decir, longitudes de onda que oscilan entre los **700 nanómetros y 1 micrómetro** aproximadamente. Los apuntadores láseres usados en este proyecto tienen una longitud de onda de **532 nanómetros**, cumpliendo con esta restricción. Además las pruebas realizadas para la detección de estos láseres fueron satisfactorias.

### 7.2.3. Láser<sup>10</sup>

Un láser (de la sigla inglesa LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, (amplificación de luz por emisión estimulada de radiación) es un dispositivo que utiliza un efecto de la mecánica cuántica, la emisión inducida o estimulada, para generar un haz de luz coherente de un medio adecuado y con el tamaño, la forma y la pureza controlados.

#### ***Historia del Láser***

En 1916, Albert Einstein estableció los fundamentos para el desarrollo de los láser y de sus predecesores, los máseres (que emiten microondas), utilizando la ley de radiación de Max Planck basada en los conceptos de emisión espontánea e inducida de radiación.

En 1928 Rudolf Landenburg reportó haber obtenido la primera evidencia del fenómeno de emisión estimulada de radiación, aunque no pasó de ser una curiosidad de laboratorio, por lo que la teoría fue olvidada hasta después de la Segunda Guerra Mundial, cuando fue demostrada definitivamente por Willis Eugene Lamb y R. C. Rutherford.

En 1953, Charles H. Townes y los estudiantes de postgrado James P. Gordon y Herbert J. Zeiger construyeron el primer máser: un dispositivo que funcionaba con los mismos principios físicos que el láser pero que produce un haz coherente de microondas. El máser de Townes era incapaz de funcionar en continuo. Nikolái Bázov y Aleksandr Prórorov de la Unión Soviética trabajaron independientemente en el oscilador cuántico y resolvieron el problema de obtener un máser de salida de luz continua, utilizando sistemas con más de dos niveles de energía. Townes, Bázov y Prórorov compartieron el Premio Nobel de Física en 1964 por "los trabajos fundamentales en el campo de la electrónica cuántica", los cuales condujeron a la construcción de osciladores y amplificadores basados en los principios de los máser-láser.

Townes y Arthur Leonard Schawlow son considerados los inventores del láser, el cual patentaron en 1960. Dos años después, Robert Hall inventa el láser semiconductor. En 1969 se encuentra la primera aplicación industrial del láser al ser utilizado en las soldaduras de los elementos de chapa en la fabricación de vehículos y, al año siguiente Gordon Gould patenta otras muchas aplicaciones prácticas para el láser.

El 16 de mayo de 1980, un grupo de físicos de la Universidad de Hull liderados por Geoffrey Pret registran la primera emisión láser en el rango de los rayos X. Pocos meses después se comienza a comercializar el disco compacto, donde un haz

---

<sup>10</sup> WIKIMEDIA FOUNDATION, INC. Wikipedia, La enciclopedia libre. Láser [online]. URL: <http://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%A1ser>

láser de baja potencia "lee" los datos codificados en forma de pequeños orificios (puntos y rayas) sobre un disco óptico con una cara reflectante. Posteriormente esa secuencia de datos digital se transforma en una señal analógica permitiendo la escucha de los archivos musicales. En 1984, la tecnología desarrollada comienza a usarse en el campo del almacenamiento masivo de datos. En 1994 en el Reino Unido, se utiliza por primera vez la tecnología láser en cinemómetros para detectar conductores con exceso de velocidad. Posteriormente se extiende su uso por todo el mundo.

Ya en el siglo XXI, científicos de la Universidad de St. Andrews crean un láser que puede manipular objetos muy pequeños. Al mismo tiempo, científicos japoneses crean objetos del tamaño de un glóbulo rojo utilizando el láser. En 2002, científicos australianos "tele-transportan" con éxito un haz de luz láser de un lugar a otro. Dos años después el escáner láser permite al Museo Británico efectuar exhibiciones virtuales. En 2006, científicos de la compañía Intel descubren la forma de trabajar con un chip láser hecho con silicio abriendo las puertas para el desarrollo de redes de comunicación mucho más rápidas y eficientes.

### ***Aplicaciones de los Láseres***

El tamaño de los láseres varía ampliamente, desde diodos láser microscópicos con numerosas aplicaciones, al láser de cristales de neodimio con un tamaño similar al de un campo de fútbol, usado para la fusión de confinamiento inercial, investigación sobre armas nucleares de destrucción masiva u otros experimentos físicos en los que se presenten altas densidades de energía

Cuando se inventó en 1960, se denominaron como "una solución buscando un problema que resolver". Desde entonces se han vuelto omnipresentes. Se pueden encontrar en miles de variadas aplicaciones en cualquier sector de la sociedad actual. Estas incluyen campos tan dispares como la electrónica de consumo, las tecnologías de la información (informática), análisis en ciencia, métodos de diagnóstico en medicina, así como el mecanizado, soldadura o sistemas de corte en sectores industriales y militares.

En bastantes aplicaciones, los beneficios de los láseres se deben a sus propiedades físicas como la coherencia, la alta monocromaticidad y la capacidad de alcanzar potencias extremadamente altas. A modo de ejemplo, un haz láser altamente coherente puede ser enfocado por debajo de su límite de difracción que, a longitudes de onda visibles, corresponde solamente a unos pocos nanómetros. Cuando se enfoca un haz de láser potente sobre un punto, éste recibe una enorme densidad de energía. Esta propiedad permite al láser grabar gigabytes de información en las microscópicas cavidades de un CD, DVD o Blu-ray. También permite a un láser de media o baja potencia alcanzar intensidades muy altas y usarlo para cortar, quemar o incluso sublimar materiales.

El rayo láser se emplea en el proceso de fabricación de grabar o marcar metales, plásticos y vidrio. Otros usos son:

- Diodos láser, usados en punteros láser, impresoras laser, y reproductores de CD, DVD, Blu-Ray, HD-DVD
- Láser de punto cuántico
- Láser de helio-neón
- Láser de dióxido de carbono - usado en industria para corte y soldado
- Láser excimer, que produce luz ultravioleta y se utiliza en la fabricación de semiconductores y en la cirugía ocular Lasik
- Láser neodimio-YAG, un láser de alto poder que opera con luz infrarroja; se utiliza para cortar, soldar y marcar metales y otros materiales
- YAG dopado con erbio, 1645 nm
- YAG dopado con tulio, 2015 nm
- YAG dopado con holmio, 2090 nm, un láser de alto poder que opera con luz infrarroja, es absorbido de manera explosiva por tejidos impregnados de humedad en secciones de menos de un milímetro de espesor. Generalmente opera en modo pulsante y pasa a través de dispositivos quirúrgicos de fibra óptica. Se utiliza para quitar manchas de los dientes, vaporizar tumores cancerígenos y deshacer cálculos renales y vesiculares.
- Láser de Zafiro dopado con Titanio, es un láser infrarrojo fácilmente sintonizable que se utiliza en espectroscopía
- Láser de fibra dopada con erbio, un tipo de láser formado de una fibra óptica especialmente fabricada, que se utiliza como amplificador para comunicaciones ópticas
- Láser de colorante, formados por un colorante orgánico operan en el UV-VIS de modo pulsado, usados en espectroscopia por su fácil sintonización y su bajo precio

Algunas aplicaciones del Láser en la vida cotidiana son:

- Medicina: Operaciones sin sangre, tratamientos quirúrgico, ayudas a la cicatrización de heridas, tratamientos de piedras en el riñon, operaciones de vista, operaciones odontológicas
- Industria: Cortado, guiado de maquinaria y robots de fabricación, mediciones de distancias precisas mediante láser
- Defensa: Guiado misiles balísticos, alternativa al Radar, cegado a la tropas enemigas
- Ingeniería Civil: Guiado de máquinas tuneladoras en túneles, diferentes aplicaciones en la topografía como mediciones de distancias a lugares innacesibles
- Investigación: Espectroscopía, Interferometría láser, LIDAR, distanciometría

- Desarrollos en productos comerciales: Impresoras láser, CD, lectores de código de barras, punteros láser, termómetros, hologramas, aplicaciones en iluminación de espectáculos
- Tratamientos cosméticos y cirugía estética: Tratamientos de Acné, celulitis, tratamiento de las estrías, depilación

Y podemos agregar una nueva a la aplicación a los láseres gracias a este nuevo proyecto donde cobraría vida en el **campo de la música**.

#### 7.2.4. Comprendiendo cómo trabaja MIDI

**MIDI**, Musical Instrument Digital Interface, es un protocolo industrial estándar que permite a los computadores, sintetizadores, secuenciadores, controladores y otros dispositivos musicales electrónicos comunicarse y compartir información para la generación de sonidos<sup>11</sup>.

Esta información define diversos tipos de datos como números que pueden corresponder a notas particulares, números de patches de sintetizadores o valores de controladores. Gracias a esta simplicidad, los datos pueden ser interpretados de diversas maneras y utilizados con fines diferentes a la música.

MIDI trabaja bajo una comunicación de tipo serial y a una velocidad de **31250 bps**. Los mensajes son transmitidos en paquetes de 3 bytes:

| Byte 0 | Byte 1 | Byte 2    |
|--------|--------|-----------|
| Canal  | Nota   | Velocidad |

Donde:

- **Canal:** Permite enviar diferentes señales por el mismo medio. Por defecto se usa el canal 0x90 (144 en decimal) que es reconocido por todos los dispositivos MIDIs como el canal primario.
- **Nota:** Es la nota musical que se desea interpretar.
- **Velocidad:** Permite establecer el volumen de la nota que se está enviando. Si es 0 es que la nota está apagada, si es 127 (decimal) es la nota en su máximo grado de volumen. Con estos 2 valores podemos establecer la señal de sonido del Arpa Láser MIDI una vez un haz de luz láser haya sido interrumpido (valor 127 decimal) o no (valor 0 decimal).

En este proyecto solo es necesario usar un canal primario pues no se requieren más para el envío de señales del Arpa Láser MIDI.

<sup>11</sup> WIKIMEDIA FOUNDATION. Wikipedia. MIDI [online]. URL: <http://es.wikipedia.org/wiki/MIDI>

Respecto a las notas, el Arpa Láser MIDI tiene 9 haces de luz láser equivalente a tener 9 notas afinadas de forma predeterminada en la escala de **Do Mayor (tercera octava)** donde cada nota equivaldría:

**Tabla 2. Cuerdas Arpa Láser MIDI**

| Cuerda | Nota     | Nota en MIDI Hexadecimal |
|--------|----------|--------------------------|
| 1      | C3 (Do)  | 0x3C                     |
| 2      | D3 (Re)  | 0x3E                     |
| 3      | E3 (Mi)  | 0x40                     |
| 4      | F3 (Fa)  | 0x41                     |
| 5      | G3 (Sol) | 0x43                     |
| 6      | A3 (La)  | 0x45                     |
| 7      | B3 (Si)  | 0x47                     |
| 8      | C4 (Do)  | 0x48                     |
| 9      | D4 (Re)  | 0x4A                     |

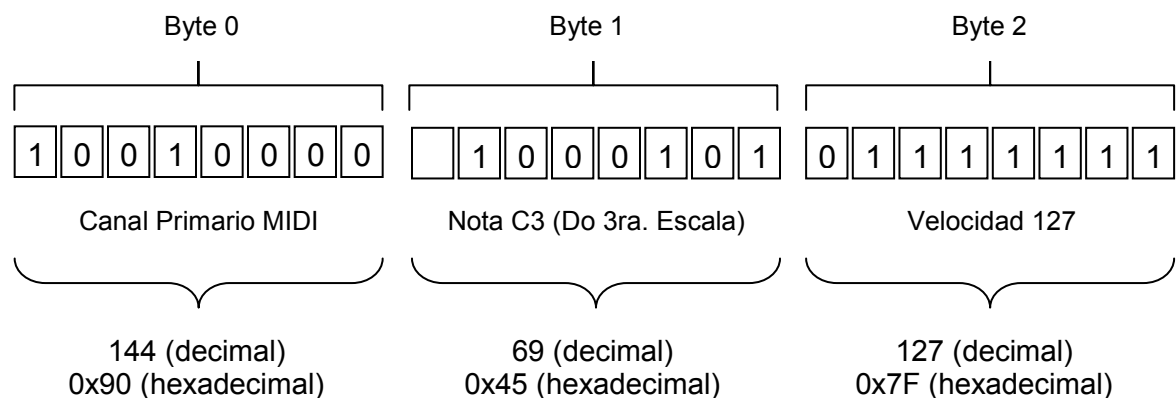
Fuente: Arpa Láser MIDI. ESTEFAN ANGEL, Juan Camilo, 2010.

La velocidad cambiaría cuando un haz de luz láser es interrumpido, siendo 0 (decimal) este caso y 127 (decimal) de forma contraria.

### Ejemplo Mensaje MIDI

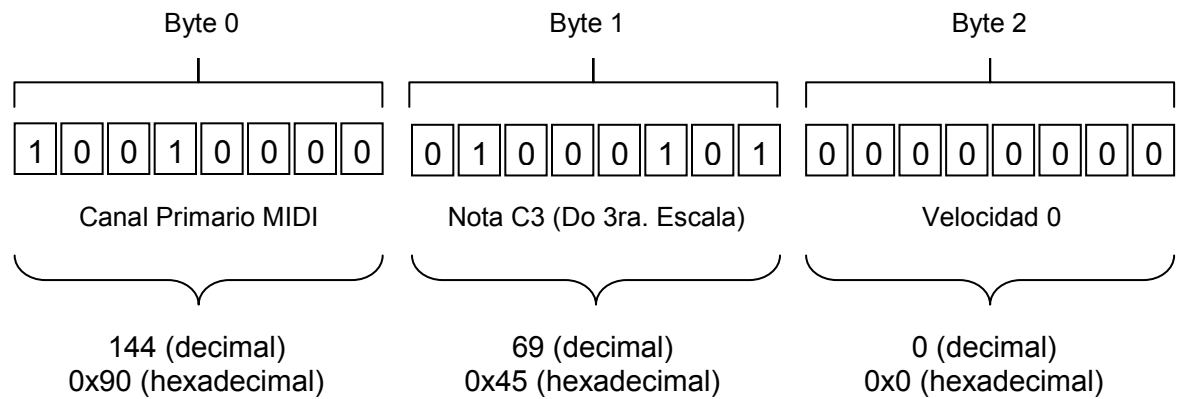
Por ejemplo queremos tocar la nota “Do” en la tercera octava, el mensaje a enviar sería:

**Figura 3. Mensaje MIDI (Nota encendida)**



Fuente: Arpa Láser MIDI. ESTEFAN ANGEL, Juan Camilo, 2010.

**Figura 4. Mensaje MIDI (Nota apagada)**



Fuente: Arpa Láser MIDI. ESTEFAN ANGEL, Juan Camilo, 2010.

De esta forma podemos apreciar que los mensajes MIDI de una nota apagada a una encendida solo varía en el Byte 2 donde la velocidad cambia de ser 127 a 0 (decimal), produciéndose así el mecanismo de la generación de señales de una determinada nota.

## 8. ARQUITECTURA DEL ARPA LÁSER MIDI

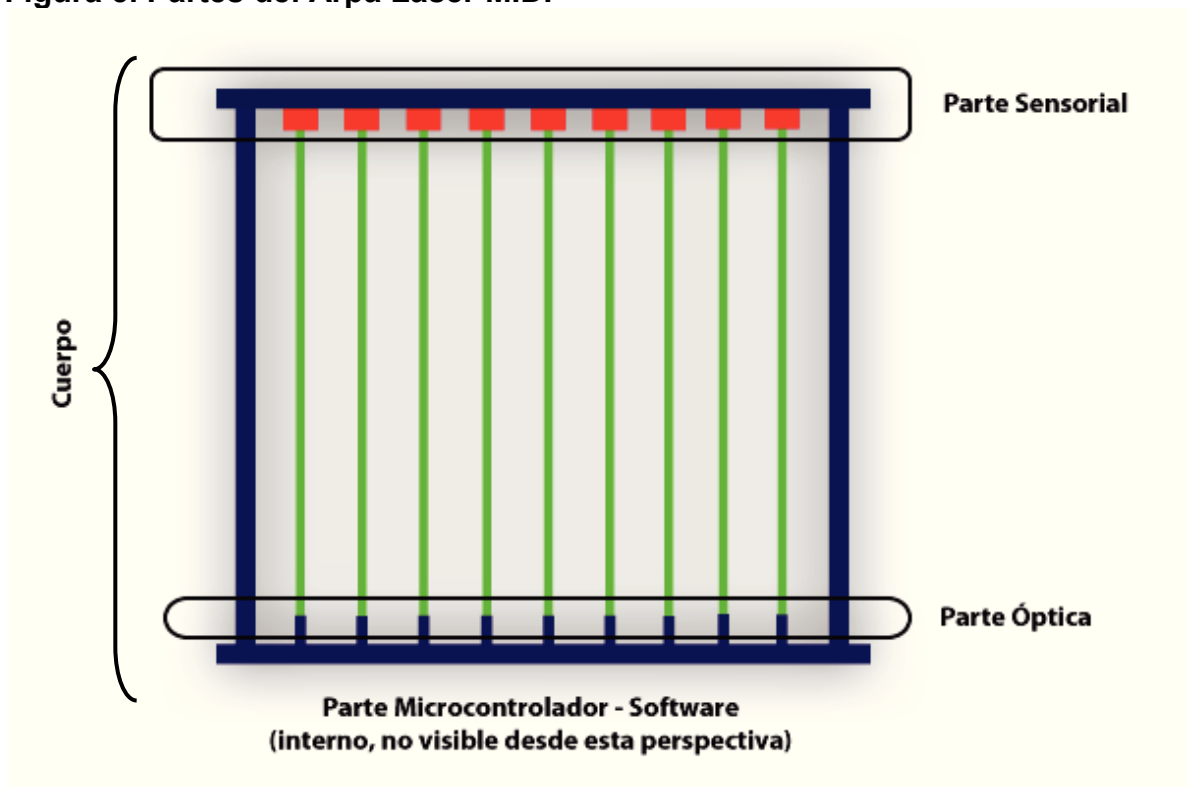
El Arpa Láser MIDI es un proyecto que nace como fruto de los estudios hechos en la materia Electrónica Digital y Conmutación.

El autor es admirador de la música New Age y en especial del artista Jean Michel Jarre el cual usa un instrumento musical compuesto de láseres y ésta es la principal inspiración para la realización de la construcción de este dispositivo.

Para comprender mejor la arquitectura y funcionamiento del Arpa Láser MIDI es bueno separarlo en cuatro principales partes:

- Cuerpo
- Parte Óptica (los láseres)
- Parte Sensorial
- Parte Microcontrolador – Software

Figura 5. Partes del Arpa Láser MIDI



Fuente: Arpa Láser MIDI. ESTEFAN ANGEL, Juan Camilo, 2010.



### 8.1. Cuerpo

El cuerpo del Arpa Láser MIDI es el armazón donde se albergarán todos los dispositivos necesarios para que pueda funcionar.

Se compone principalmente de dos columnas que dan firmeza y sostienen todo el dispositivo. Sus medidas generales son:

- Alto: 1,60 metros
- Ancho: 1 metro
- Profundidad: 20 centímetros aproximadamente

La parte superior contiene todo el apartado sensorial, la parte inferior todo lo óptico y el software. Estos serán explicados con mayor profundidad más adelante.

### 8.2. Parte Óptica

La parte óptica comprende la parte visual del Arpa Láser MIDI. Son láseres colocados uno seguido de otro, separados a 9 cm aproximadamente y ubicados en la parte inferior del arpa. Estos láseres estarán dirigiendo su haz de luz a unos sensores que hacen parte de la sección sensorial explicada más adelante.

El fin de esta parte es brindar el impacto visual que ofrece el arpa y proporcionar el evento a la parte sensorial de que cuando estos se interrumpan puedan ser interpretados por un software programador en un microcontrolador.

En la siguiente tabla se muestra las características de los 9 láseres que se usan en el Arpa Láser MIDI.

**Tabla 3. Apuntador Láser**



#### **Apuntador Láser**

Potencia: 5 mW

Voltaje: 3 voltios

532 nm

Alcance máximo: 1.5 km

---

Fuente: Arpa Láser MIDI. ESTEFAN ANGEL, Juan Camilo, 2010.

### 8.3. Parte Sensorial

La parte sensorial abarca todo el hardware necesario para detectar si un haz de luz láser ha sido interrumpido para enviar directamente la señal al microcontrolador para que éste la interprete y produzca la señal MIDI.

Se usan 9 fotodiodos o receptores infrarrojos (uno por cada haz de luz láser) para llevar a cabo esta tarea. También es necesario usar una resistencia de 100K en cada receptor para así garantizar la correcta recepción de la señal que cada láser envía.

A continuación se muestran los dispositivos mencionados:

**Tabla 4. Fotodiodo o Receptor Infrarrojo y Resistencia de 100K**

---



#### **Fotodiodo o Receptor Infrarrojo**

Permite detectar cuando un haz de luz láser es interrumpido ya que es capaz de detectar longitudes de onda entre 700 nanómetros y 1 micrómetro aprox.

Los láseres usados en este proyecto tienen una longitud de onda de 532 nanómetros



#### **Resistencia de 100K**

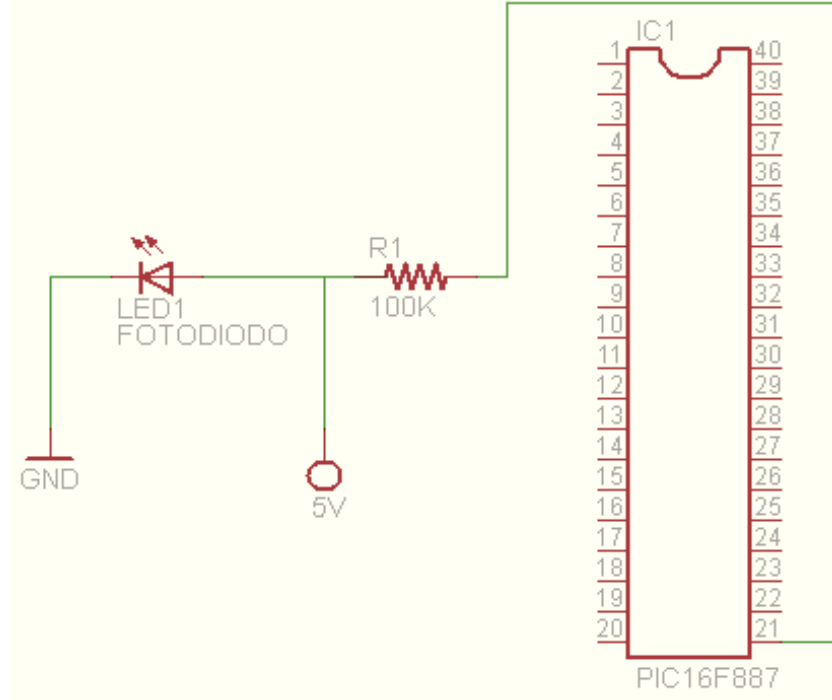
Necesaria para que el receptor infrarrojo pueda detectar de manera exitosa cuando un haz de luz láser se interrumpe

---

Fuente: Arpa Láser MIDI. ESTEFAN ANGEL, Juan Camilo, 2010.

El siguiente esquema ilustra cómo deben estar conectados estos dispositivos:

**Figura 6. Esquema electrónico: Parte Sensorial**



Fuente: Arpa Láser MIDI. ESTEFAN ANGEL, Juan Camilo, 2010.

#### **8.4. Parte Microcontrolador - Software**

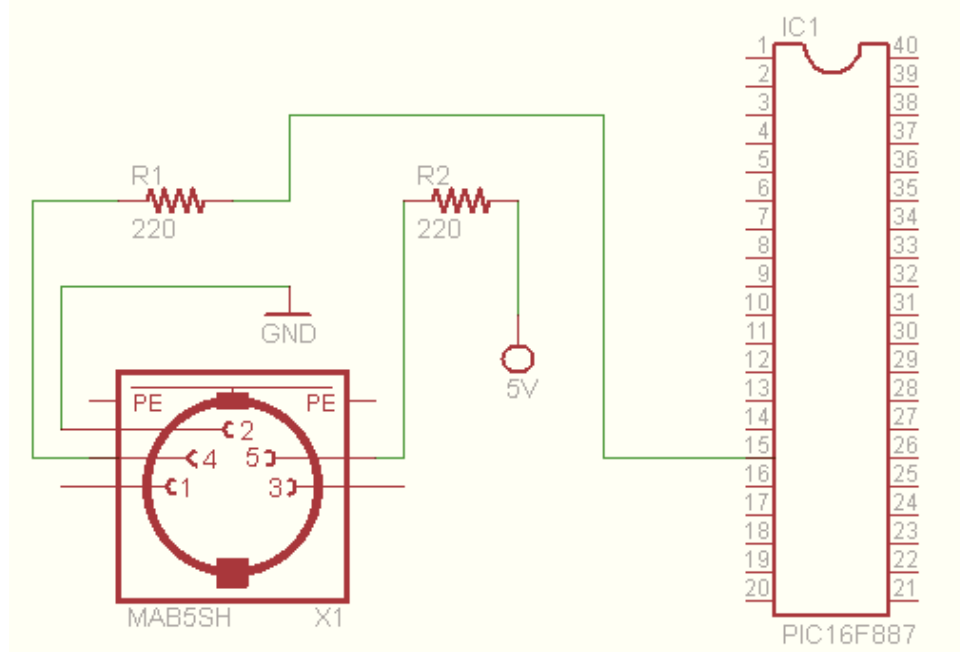
Esta sección tiene como objetivo generar las señales MIDI según lo que la parte sensorial le indique. Para realizar esto es necesario usar un microcontrolador que incorporará un software encargado de interpretar estas señales y finalmente enviar la señal al puerto MIDI para que este sea interpretado por un PC/Dispositivo MIDI y finalmente se produzca el sonido o evento programado.

Se usa un microcontrolador **PIC 16F887** que tiene 40 terminales que pueden ser programados como entrada/salida. Gracias a este gran número podemos usar cada una directamente sin necesidad de un multiplexor o algo parecido. Cada terminal tendrá conectada un receptor infrarrojo de manera que apenas envíe la señal éste, el microcontrolador sabrá qué hacer.

Una de las terminales estará configurada como de salida para llevar la señal MIDI al computador por medio de un conector MIDI.

A continuación se muestra un esquema de cómo serían las conexiones del microcontrolador:

**Figura 7. Esquema electrónico: Parte Microcontrolador - Software**



Fuente: Arpa Láser MIDI. ESTEFAN ANGEL, Juan Camilo, 2010.

La siguiente tabla muestra los dispositivos descritos en esta sección:

**Tabla 5. Microcontrolador PIC 16F887 y Conector MIDI**



**Microcontrolador PIC 16F887**  
Se encarga de procesar la señales que provienen de los fotodiodos o receptores infrarrojos para producir la señal MIDI



**Conector MIDI**  
Permite la salida hacia el dispositivo MIDI

Fuente: Arpa Láser MIDI. ESTEFAN ANGEL, Juan Camilo, 2010.

La parte software del microcontrolador se programa en el lenguaje C. Este programa tendrá todo el algoritmo de reconocimiento de señales producidas por los receptores infrarrojos y de la generación de las señales MIDI para que puedan ser enviadas a un computador o dispositivo MIDI.

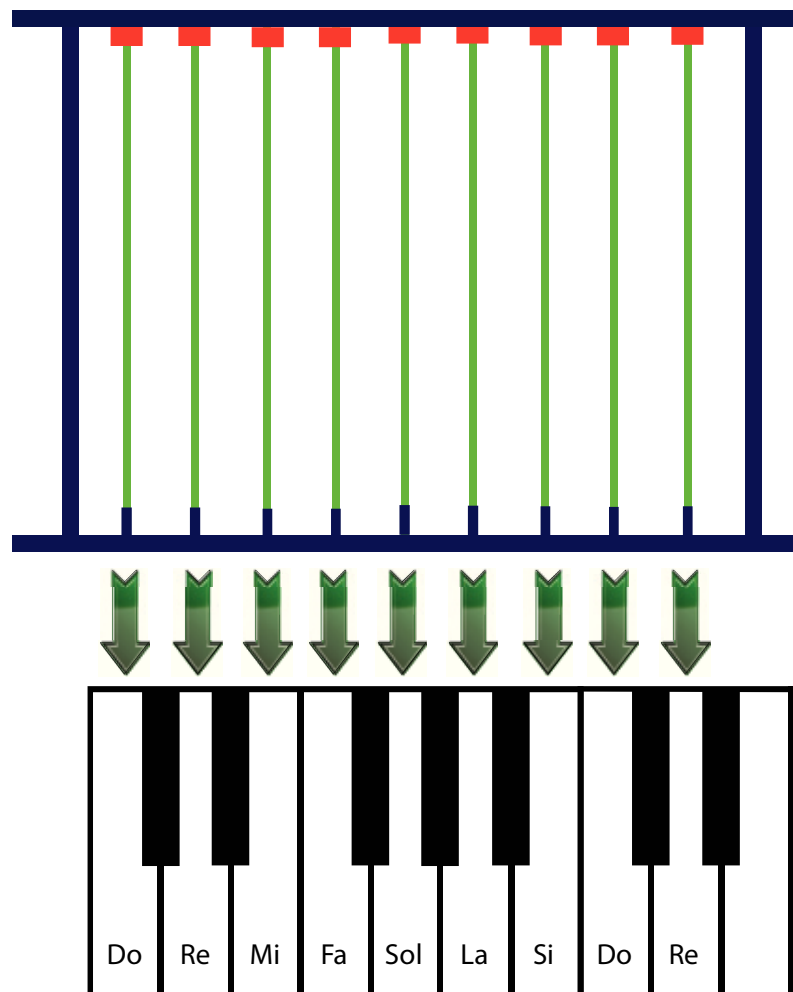
### 8.5. Registro musical del Arpa Láser MIDI

El Arpa Láser MIDI contiene 9 haces de luz láser equivalente a tener 9 notas afinadas de forma predeterminada en la escala de **Do Mayor (tercera octava)**.

La siguiente figura muestra a qué nota equivale cada haz de luz láser:

**Figura 8. Notas del Arpa Láser MIDI**

Notas Arpa Láser MIDI



Fuente: Arpa Láser MIDI. ESTEFAN ANGEL, Juan Camilo, 2010.

## 8.6. Aplicaciones del Arpa Láser MIDI

El Arpa Láser MIDI tiene varias aplicaciones en diferentes campos. La principal para este proyecto es en el ámbito musical donde gracias al protocolo MIDI permite una transparencia en la comunicación con otros dispositivos como son un computador o un sintetizador.

Sin embargo este mismo protocolo permite que el Arpa Láser MIDI tenga otras aplicaciones como son:

- **Dispositivo de entrada:** Se puede emular mediante software las señales MIDI para que puedan ser traducidas a eventos de un teclado común de un computador o incluso un mouse.
- **Videojuegos:** Existen videojuegos que soportan dispositivos MIDI como controladores de juego. Hay juegos del tipo *Guitar Hero*<sup>12</sup> que soportan esta característica y son gratuitos. Uno de ellos es el *FoFix*<sup>13</sup>.
- **Posible uso como periférico para discapacitados:** Es posible usar el Arpa Láser MIDI para personas discapacitadas gracias a que no es necesaria una interacción totalmente directa con el mismo, ayudando a estas personas a realizar acciones con dispositivos computacionales.

---

<sup>12</sup> *Guitar Hero* es un exitoso videojuego multiplataforma donde se interpretan canciones siguiendo ciertos patrones que se muestran en pantalla. Los dispositivos que se usan para seguir estos patrones son variados (guitarras, baterías e incluso micrófonos).

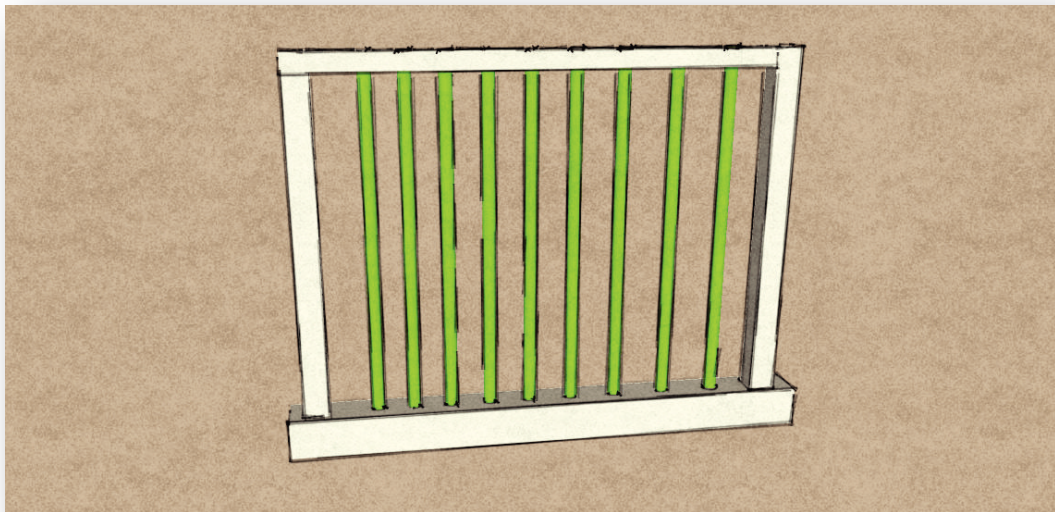
<sup>13</sup> *FoFix* es un videojuego para PC al estilo de *Guitar Hero*. Puede descargarse de manera gratuita a través del siguiente vínculo: <http://code.google.com/p/fofix/>

## 9. CONSTRUCCIÓN DEL ARPA LÁSER MIDI

El Arpa Láser MIDI se construye bajo un cuerpo constituido por dos columnas principales que soportarán todo el cuerpo y dos tablas en sus extremidades superiores e inferiores donde estarán albergados los sensores y láseres respectivamente.

A continuación se muestra un bosquejo inicial del Arpa Láser MIDI:

**Figura 9. Bosquejo Inicial Arpa Láser MIDI**



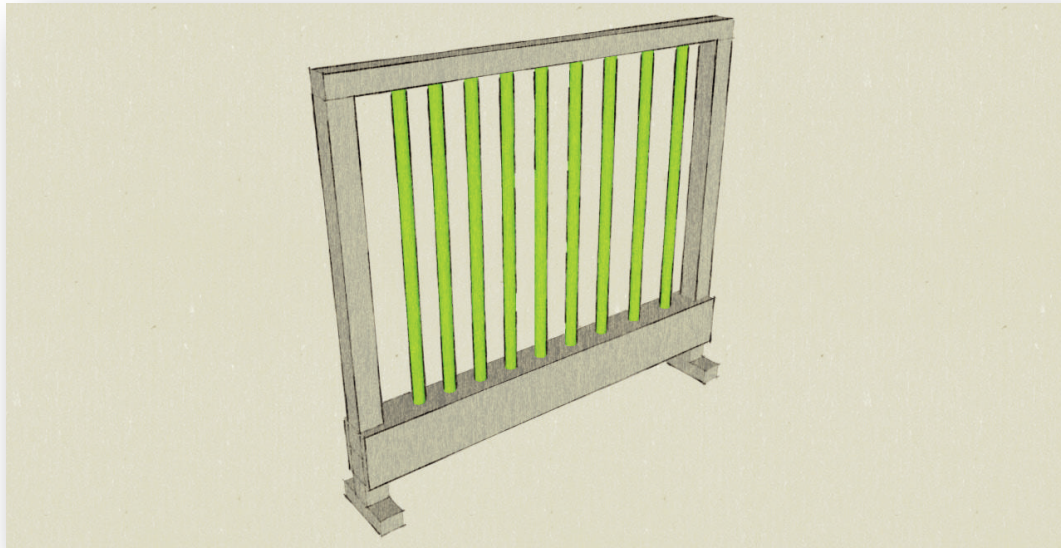
Fuente: Arpa Láser MIDI. ESTEFAN ANGEL, Juan Camilo, 2010.

Este bosquejo fue evolucionando a medida que se iban haciendo pruebas de acomodación de los láseres y la resistencia de la arquitectura en general. Se notó que era necesario agregar una base para mejorar la estabilidad de la estructura. Adicionalmente se identificó la necesidad de ampliar la parte inferior con el motivo de albergar los láseres con mayor facilidad.

El Arpa Láser MIDI pasó a ser más alta, incrementándose en 60 cms respecto a la medida inicial de 1 metro, totalizando 1.60 metros de alto.

Inicialmente se tenía previsto usar tubos de PVC o metálicos para la elaboración de la estructura principal, sin embargo en el modelo final se optó por usar madera gracias a su maleabilidad y gran impacto visual.

**Figura 10. Modelo Final Arpa Láser MIDI**



Fuente: Arpa Láser MIDI. ESTEFAN ANGEL, Juan Camilo, 2010.

Adicionalmente en el [Anexo A](#) hay un cronograma referente a como fue la elaboración del Arpa Láser MIDI.

### **9.1. Ensamble de partes**

Para construir el Arpa Láser MIDI se usó madera casi en su totalidad gracias a la maleabilidad que propicia este material y el gran impacto visual que genera.

El Arpa Láser MIDI tiene unas medidas generales de 1,60 metros de alto y 1 metro de ancho aproximadamente.

A continuación se mostrarán las diferentes partes que componen el Arpa Láser MIDI para su construcción:

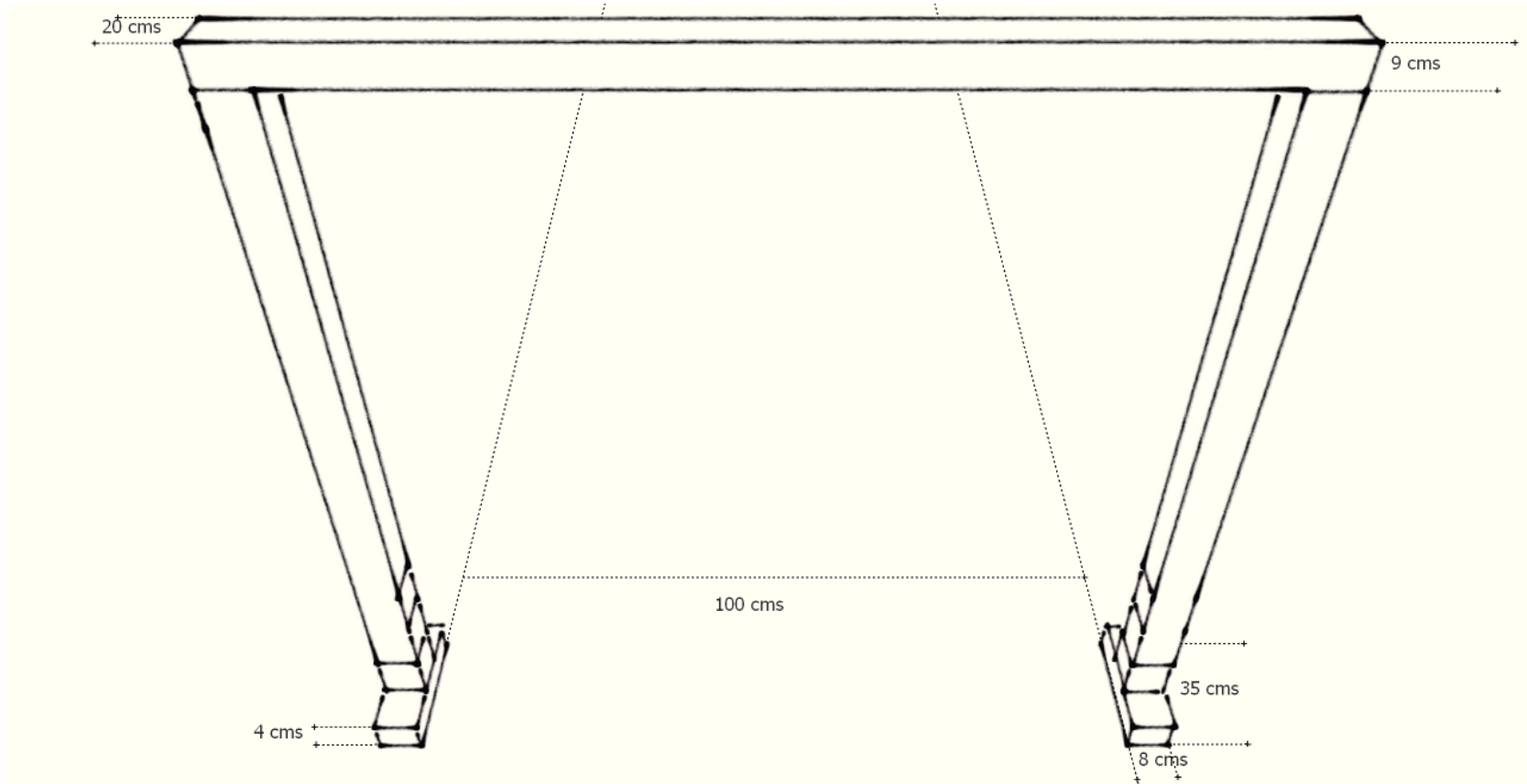
#### **9.1.1. Cuerpo General**

El cuerpo general comprende las columnas que sostendrán toda el Arpa Láser MIDI, adicionalmente contiene un soporte en su parte superior donde se albergan los fotodiodos o receptores infrarrojos y en su parte inferior se encuentran unas patas que ayudan a darle estabilidad a todo el cuerpo.

En la siguiente figura se puede apreciar con mayor detalle lo anteriormente descrito y adicionalmente las medidas de cada parte:



**Figura 11. Medidas Cuerpo del Arpa Láser**



Fuente: Arpa Láser MIDI. ESTEFAN ANGEL, Juan Camilo, 2010.

El cuerpo del Arpa Láser MIDI mostrado anteriormente fue elaborado en madera y sus piezas fueron ensambladas con tornillos facilitando así posibles ajustes a futuro.

### 9.1.2. Caja de láseres y circuitos

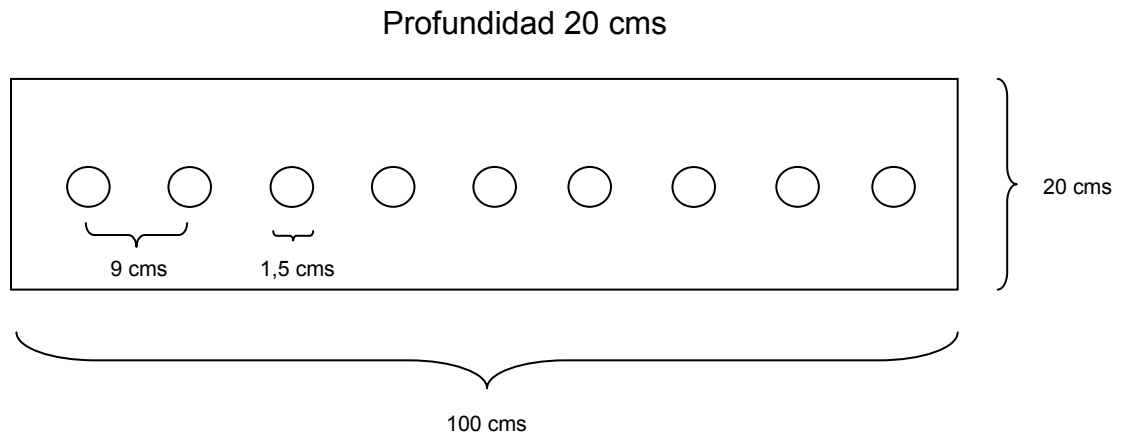
Esta parte se ubica en la parte inferior del Arpa Láser MIDI. Aquí se almacenarán todos los láseres y los circuitos que harán que el Arpa Láser MIDI pueda ser interpretada y dar mayor soporte a la estructura.

La caja tiene una medida de 1 metro de longitud, 20 centímetros de altura y 20 centímetros de profundidad. En su parte superior tiene 9 orificios de 1,5 centímetros de diámetro que servirán para albergar cada apuntador láser y estarán separados a 9 centímetros cada uno.

Se estableció la medida de los 9 centímetros entre cada orificio tomando en cuenta la medida de la palma de una mano promedio.

A continuación se muestra un gráfico de la caja de láseres y circuitos:

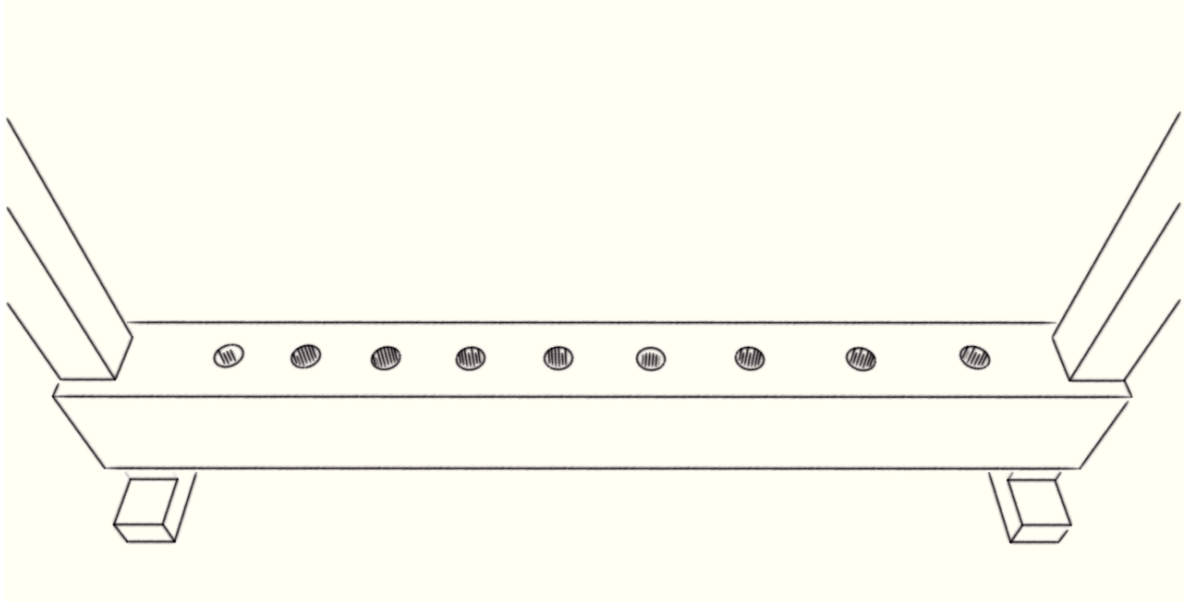
**Figura 12. Caja de láseres y circuitos**



Fuente: Arpa Láser MIDI. ESTEFAN ANGEL, Juan Camilo, 2010.

Al terminar de elaborarse esta caja se ensambla en el cuerpo del Arpa Láser MIDI justo antes de la base usando tornillos y colbón de madera como se puede apreciar en la siguiente figura:

**Figura 13. Caja de láseres y circuitos ensamblada en el Arpa Láser MIDI**



Fuente: Arpa Láser MIDI. ESTEFAN ANGEL, Juan Camilo, 2010.

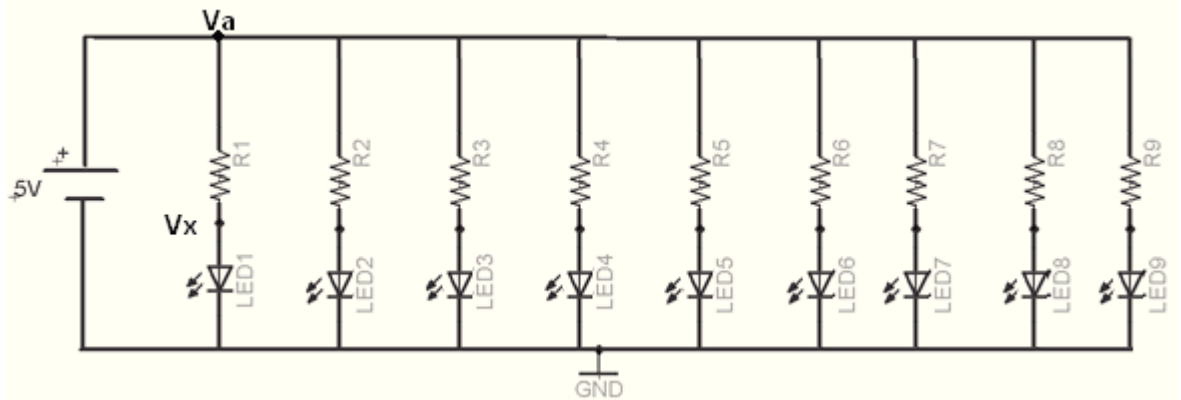
Como comentario adicional es bueno hacer un orificio o compuerta en algún lado de la caja para poder colocar fácilmente los circuitos y los láseres.

### **9.1.3. Alimentación de los láseres**

Los apuntadores láseres usados en este proyecto son dispositivos que fueron fabricados para usarse con 2 pilas AAA, lo que quiere decir que trabajan con corriente continua (DC) y 3 voltios (pues cada pila brinda 1,5 voltios). Adicionalmente cada láser consume 200 mA según especificaciones del fabricante.

A continuación se puede ver un esquema que muestra cómo deben conectarse los láseres (dibujados como LED) apropiadamente:

**Figura 14. Esquema electrónico: Alimentación de los láseres**



Fuente: Arpa Láser MIDI. ESTEFAN ANGEL, Juan Camilo, 2010.

Se llega a inclusión de las resistencias de 10 ohmios al considerar que cada uno de los láseres consumen 3.0V aproximadamente y que la corriente que circulará por cada uno de ellos es de máximo 200mA, llegando al cálculo de la resistencia de la siguiente forma:

$$R1 = \frac{Va - Vx}{I} = \frac{5 - 3}{200mA} = 10 \Omega$$

Se debe tener en cuenta que la fuente de 5V que alimentará el sistema debe ser capaz de proveer toda la corriente, es decir, aproximadamente 2 amperios. Con esto en mente se establece que el uso de una fuente común de computador cumple con estos requisitos y es propicio para alimentar los láseres.

#### **9.1.4. Cableado**

Para el cableado del Arpa Láser MIDI se usó un cable convencional telefónico de 10 pares (pues es necesario un par de cables por cada sensor, necesiándose en total 9 pares). Este cable permite que los sensores que se encuentran en la parte superior del Arpa Láser MIDI puedan ser conectados al circuito que está ubicado en el segmento inferior. Se utiliza una canaleta en el extremo de una columna del Arpa Láser MIDI para transportar todo el cableado hasta los circuitos de la parte inferior del dispositivo.

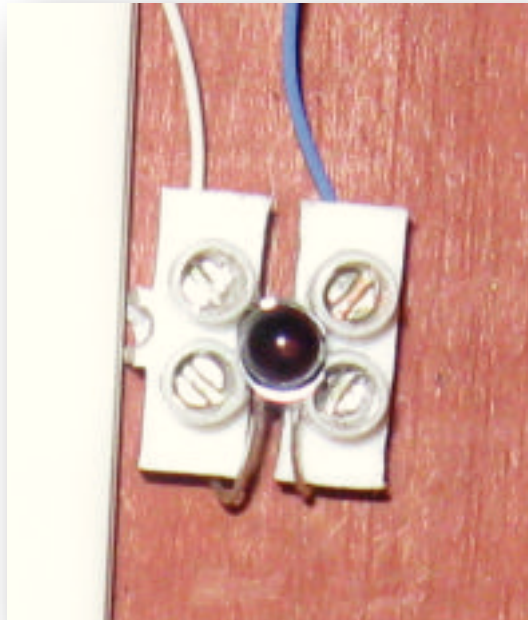
### 9.1.5. Sensores

Los diodos o receptores infrarrojos del Arpa Láser MIDI se encuentran ubicados en la parte superior. Son en total 9 y están separados a 9 centímetros cada uno para poderse alinear con cada haz de luz láser.

Estos dispositivos se ubican en la parte superior del cuerpo del Arpa Láser MIDI, incrustados en una figura de plástico atornillada a la madera que tiene en su interior tornillos que permiten la fácil unión electrónica de los cables.

A continuación se muestra una imagen que describe lo enunciado anteriormente:

**Figura 15. Fotodiodo adherido a figura plástica**



Fuente: Arpa Láser MIDI. ESTEFAN ANGEL, Juan Camilo, 2010.

Adicionalmente en los [Anexos C, D y E](#) están los esquemáticos de toda la parte electrónica del Arpa Láser MIDI.

En los [Anexos F y G](#) se encuentran fotos del Arpa Láser MIDI ya construida.

## 9.2. Algoritmo para el funcionamiento del Arpa Láser MIDI

Para comprender el algoritmo empleado en el Arpa Láser MIDI es necesario tener claro el numeral [Comprendiendo cómo trabaja MIDI](#).

A la hora de ejercer sonidos sobre el estándar MIDI, se tienen dos señales básicas que son las de **Nota Encendida** y **Nota Apagada**. Al enviar por ejemplo la señal de **Nota Encendida**, la nota quedará sostenida, es decir, sonando hasta que la señal de **Nota Apagada** se envíe.

Este fenómeno dificulta la tarea de que el Arpa Láser MIDI suene solo cuando sea interrumpido un haz de luz láser.

Para resolver este inconveniente es necesario recurrir a un algoritmo que nos ayude a identificar qué haz de luz láser está interrumpido en determinado momento para producir el sonido y que sólo se deje de producir tal sonido cuando ya no esté interrumpido dicho haz de luz.

Para llevar a cabo esta tarea es necesario realizar los siguientes pasos:

1. Sensar el medio. Cada instante el algoritmo está rectificando que haz de luz láser ha sido interrumpido para poder producir la señal de Nota Encendida respectiva.
2. Apenas esté interrumpido ese haz de luz dejar de producir esa señal de nota encendida.
3. Si en algún momento se deja de interrumpir ese haz de luz láser, es necesario enviar la señal de Nota Apagada respectiva.
4. Seguir sensando el medio para poder identificar en cada instante qué haz de luz láser se está interrumpiendo.

Para poder gestionar fácilmente los sensores que permiten identificar si un haz de luz láser ha sido interrumpido, se va a utilizar un arreglo que nos permitirá lógicamente modificar sus propiedades.

### 9.2.1. Pseudocódigo

Sea nota\_x el puerto donde se lee si una nota está encendida o apagada

Sea arpaAnterior un vector de tamaño 9 inicializado en 0 cada posición

Sea arpaActual un vector de tamaño 9 inicializado en 0 cada posición

Sea tocarNota\_x un método por el cual se genera la señal MIDI de tocar una nota dado un número x

Sea apagarNota\_x un método por el cual se genera la señal MIDI de apagar una nota dado un número x

Mientras 0 hacer

    Si nota\_x está encendida entonces

        arpaActual[x] = 1

        Si arpaActual[x] <> arpaAnterior[x] entonces

            arpaAnterior[x] = arpaActual[x]

            tocarNota\_x

        Fin Si

    Fin Si

    Si nota\_x está apagada entonces

        Si arpaAnterior[x] == 1

            arpaActual[x] = 0

            arpaAnterior[x] = arpaActual[x]

            apagarNota\_x

        Fin Si

    Fin Si

Fin Mientras

### 9.3. Grabando el código en el PIC para el Arpa Láser MIDI

En este proyecto se decidió usar el PIC 16F887 debido a que tiene 40 terminales que pueden ser usados como entrada o salida, característica que ayuda a la hora de programar el mismo para dedicar un puerto en específico a cada sensor.

Para grabar el código que se encuentra como [Anexo B](#) a este documento es necesario disponer de una tarjeta programadora de PICs. En este caso se utilizó la tarjeta que la Universidad EAFIT propicia a sus estudiantes.

El código se escribe y compila mediante la aplicación **PCW PIC C Compiler** y luego se graba el código en el PIC mediante el aplicativo **ICProg**.

## **10. MANUAL DEL USUARIO**

El Manual de Usuario del Arpa Láser MIDI se encuentra en un documento aparte que se encuentra anexo a éste.

Está compuesto de 10 páginas y pretende explicar cómo configurar el Arpa Láser MIDI para que pueda ser usado por cualquier persona y dar una visión general de las posibles aplicaciones que tiene este dispositivo.



## 11. CONCLUSIONES

En el presente proyecto se desarrolló un Arpa Láser donde cada cuerda equivale a un haz de luz láser y es capaz de producir sonidos una vez se interrumpa cada uno cumpliendo con los estándares MIDI logrando el objetivo de que fuera económica. Su principal innovación es la transparencia en la comunicación al usar el estándar MIDI y sus económicos elementos que lo hacen un instrumento viable para cualquier músico o aficionado.

Adicionalmente gracias al uso del protocolo MIDI el Arpa Láser MIDI puede usarse en otras áreas diferentes a la música, ya sea como dispositivo de entrada, como dispositivo para videojuegos o como dispositivo para discapacitados debido a que no es necesaria una directa interacción con el mismo ampliando así el objetivo principal inicial.

El mecanismo de envío de señales MIDI se realizó mediante el uso de un PIC convencional.

El sistema de detección de la interrupción de los láseres para generar las señales MIDI se realizó mediante el uso de fotodiodos-receptores infrarrojos.

Es posible hacer futuras mejoras al proyecto para así ampliar su rango de opciones a la hora de su interpretación, sin embargo algunas podrían ser muy costosas:

- **Pedalera para cambio de octava:** La inserción de un pedal para poder cambiar de escala o notas en tiempo real ampliando así su registro musical.
- **Modulador / Pitch Bend para cada láser:** Se puede plantear la posibilidad usar acelerómetros en cada láser de modo que de acuerdo a como se interrumpa el láser pueda sonar con mayor-menor modulación o incluso subir-bajar semitonos enriqueciendo así más la parte interpretativa del Arpa Láser MIDI. Esta modalidad es muy usada en la música electrónica.
- **Adición de Trastes Láser:** Es posible ampliar el rango de notas que se pueden interpretar en el Arpa Láser MIDI mediante la adición de trastes láser (similar a una guitarra).

## 12. BIBLIOGRAFÍA

- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Tesis y otros trabajos de grado. Bogotá: ICONTEC, 2006. 7p. : il (NTC1486)
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Tesis y otros trabajos de grado. Bogotá: ICONTEC, 2006. 2p. (NTC1487)
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Tesis y otros trabajos de grado. Bogotá: ICONTEC, 2006. 6p. (NTC1307)
- INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Tesis y otros trabajos de grado. Bogotá: ICONTEC, 2006. 6p. (NTC4490)

### 13. CIBERGRAFÍA

- LASER, SL. Clases de Láser [online]. URL: <http://www.sl-laser.com/es/productos/71-laserklassen.html>
- ILLINOIS, University. Laser Safety Manual [online]. URL: <http://www.drs.illinois.edu/rss/manuals/lasermanual/pdf/LaserSafetyManual.pdf>
- WIKIMEDIA FOUNDATION, INC. Wikipedia, La enciclopedia libre. MIDI [online]. URL: <http://es.wikipedia.org/wiki/MIDI>
- WIKIMEDIA FOUNDATION, INC. Wikipedia, La enciclopedia libre. Microcontrolador PIC [online]. URL: [http://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador\\_PIC](http://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador_PIC)
- WIKIMEDIA FOUNDATION, INC. Wikipedia, La enciclopedia libre. Ohmio [online]. URL: <http://es.wikipedia.org/wiki/Ohmio>
- WIKIMEDIA FOUNDATION, INC. Wikipedia, La enciclopedia libre. DJ [online]. URL: <http://es.wikipedia.org/wiki/DJ>
- WIKIMEDIA FOUNDATION, INC. Wikipedia, La enciclopedia libre. New Age [online]. URL: [http://es.wikipedia.org/wiki/New\\_age](http://es.wikipedia.org/wiki/New_age)
- WIKIMEDIA FOUNDATION, INC. Wikipedia, La enciclopedia libre. Método Empírico Analítico [online]. URL: [http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9todo\\_emp%C3%ADrico-anal%C3%ADtico](http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9todo_emp%C3%ADrico-anal%C3%ADtico)
- WIKIMEDIA FOUNDATION, INC. Wikipedia, La enciclopedia libre. Microcontrolador [online]. URL: <http://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador>
- UNICROM, Electrónica. Microcontroladores [online]. URL: [http://www.unicrom.com/Tut\\_PICs1.asp](http://www.unicrom.com/Tut_PICs1.asp)
- WIKIMEDIA FOUNDATION, INC. Wikipedia, La enciclopedia libre. Sensores [online]. URL: <http://es.wikipedia.org/wiki/Sensores>
- WIKIMEDIA FOUNDATION, INC. Wikipedia, La enciclopedia libre. Láser [online]. URL: <http://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%A1ser>

## 14. PRESUPUESTO

El siguiente es el presupuesto final del proyecto:

**Tabla 6. Presupuesto Final**

| Descripción                | Cantidad | Costo U. | Costo Total      |
|----------------------------|----------|----------|------------------|
| Apuntador Láser Verde 5 mW | 9        | \$40,000 | \$360,000        |
| Foto Celdas                | 20       | \$200    | \$4,000          |
| Resistencias               | 60       | \$100    | \$6,000          |
| Placa Digital              | 2        | \$4,000  | \$8,000          |
| Madera (1.60 mts alto)     | 5        | \$25,000 | \$125,000        |
| Tubo protector foto celda  | 20       | \$200    | \$4,000          |
| Conector MIDI (cabezal)    | 2        | \$3,000  | \$6,000          |
| PIC                        | 1        | \$15,000 | \$15,000         |
| Plexi-glass                | 20       | \$2,000  | \$40,000         |
| Otros gastos               | 1        | \$60,000 | \$60,000         |
| <b>Total</b>               |          |          | <b>\$628,000</b> |

Fuente: Arpa Láser MIDI. ESTEFAN ANGEL, Juan Camilo, 2010.

### Notas:

- En la parte de Otros gastos, se hace alusión a gastos diversos que se generan durante la elaboración del arpa láser, como pueden ser: estaño, cableado, cobre, dúplex, ventiladores, transporte, etc.
- El apuntador láser es Clase IIIa<sup>14</sup> con 532nm de longitud de onda y 5 mW de potencia.

---

<sup>14</sup> *Láser Clase IIIa*, la potencia accesible del rayo es peligrosa para la vista si se empequeñece la transversal de rayo mediante instrumentos ópticos. Al no empequeñecerla mediante lupas, lentes o telescopio, no se convierte en un peligro para la vista. Si este no es el caso, tampoco es peligroso, si la potencia emitida del láser en espectro visual (400 hasta 700 nm), en una exposición de tiempo mínimo (0,25s) o en otros espectros visuales de radiación de largo tiempo (Tomado de <http://www.sl-laser.com/es/productos/71-laserklassen.html>)

## 15. OBSERVACIONES

Temas de salud y peligro con el uso de láseres:

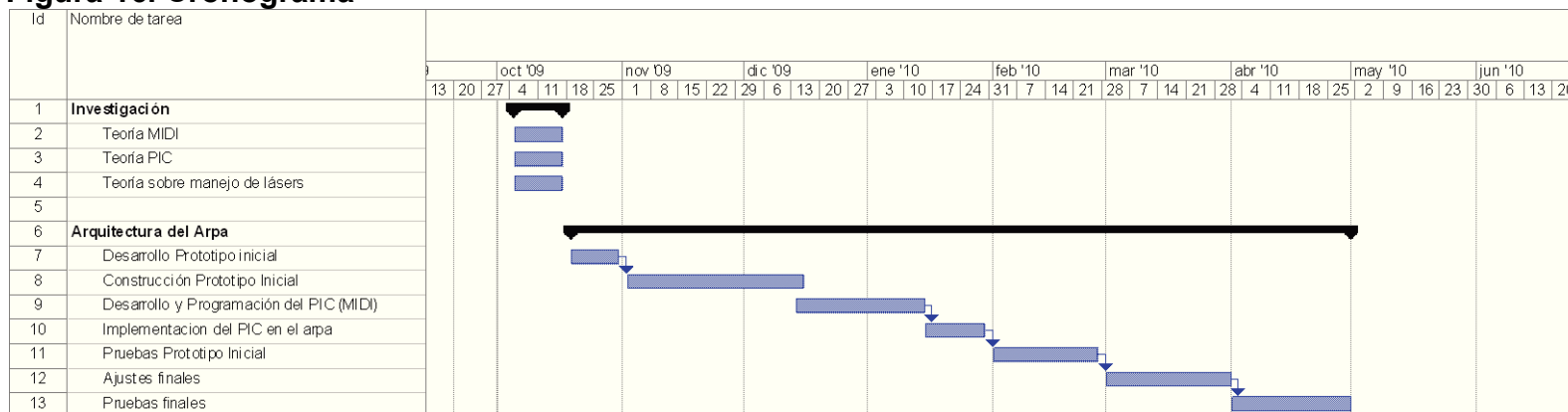
- En el proyecto se usaron 9 láseres para la generación de las diferentes haces de luz láser del arpa. Estos láseres son de 5 mW los cuales no son lo suficientemente potentes para ser necesario el uso de guantes o gafas especiales. La recomendación para usar este tipo de indumentaria sería a partir de los 150 mW<sup>15</sup>. Sin embargo la exposición constante y directa de los ojos al láser si podría causar efectos nocivos para la salud. Teniendo en cuenta estos puntos, al momento de estar expuesto al láser durante la fabricación del arpa, la persona involucrada debe hacer uso de gafas especiales para cuidar de su salud.

---

<sup>15</sup> *Láser Clase IIIa*, menores a 150mW (o menor a 700nm de longitud de onda) no es necesaria la utilización de indumentaria especial, sin embargo si se aconseja si se va estar expuesto durante tiempo prolongado (Tomado de <http://www.sl-laser.com/es/productos/71-laserklassen.html>).

## Anexo A. Cronograma

Figura 16. Cronograma



Fuente: Arpa Láser MIDI. ESTEFAN ANGEL, Juan Camilo, 2010.

### Actividades:

- **Investigación (Octubre 5 – Octubre 16, 2009)**
  - Teoría MIDI (Octubre 5 – Octubre 16, 2009)
  - Teoría PIC (Octubre 5 – Octubre 16, 2009)
  - Teoría sobre manejo de láseres (Octubre 5 – Octubre 16, 2009)
  
- **Arquitectura del Arpa (Octubre 19 2009 – Abril 30, 2010)**
  - Desarrollo Prototipo inicial (Octubre 19 – Octubre 30, 2009)
  - Construcción Prototipo Inicial (Noviembre 2 – Diciembre 15, 2009)
  - Desarrollo y Programación del PIC MIDI (Diciembre 14 2009 – Enero 14, 2010)
  - Implementación del PIC en el arpa (Enero 15 – Enero 29, 2010)
  - Pruebas Prototipo Inicial (Febrero 1 – Febrero 26, 2010)
  - Ajustes finales (Marzo 1 – Marzo 31, 2010)
  - Pruebas finales (Abril 1 – Abril 30, 2010)

## Anexo B. Código escrito en C del Arpa Láser MIDI

```
// Realizamos encabezado y protocolo de comunicacion MIDI a
31250 baudios
#include<16F887.h>
#use delay(internal=4000000)
#use rs232(baud=31250, xmit=pin_c0) // salimos por c0
#fuses xt, noprotect, nowdt, nobrownout, put, nolvp
#byte portb = 6 // Memoria que asigna el PIC al puerto b
#byte portc = 7 // Memoria que asigna el PIC al puerto c
#byte portd = 8 // Memoria que asigna el PIC al puerto d

// Declaramos las notas con sus respectivos puertos
#define nota1 portd, 2
#define nota2 portd, 3
#define nota3 portc, 4
#define nota4 portc, 5
#define nota5 portc, 6
#define nota6 portc, 7
#define nota7 portd, 4
#define nota8 portd, 5
#define nota9 portd, 6

// Realizamos 5 arreglos con las notas MIDI en Hexadecimal
para cada octava
//byte const octava1[12] = {0x24, 0x25, 0x26, 0x27, 0x28,
0x29, 0x2A, 0x2B, 0x2C, 0x2D, 0x2E, 0x2F};
//byte const octava2[12] = {0x30, 0x31, 0x32, 0x33, 0x34,
0x35, 0x36, 0x37, 0x38, 0x39, 0x3A, 0x3B};
byte const octava3[12] = {0x3C, 0x3D, 0x3E, 0x3F, 0x40, 0x41,
0x42, 0x43, 0x44, 0x45, 0x46, 0x47};
byte const octava4[12] = {0x48, 0x49, 0x4A, 0x4B, 0x4C, 0x4D,
0x4E, 0x4F, 0x50, 0x51, 0x52, 0x53};
//byte const octava5[12] = {0x54, 0x55, 0x56, 0x57, 0x58,
0x59, 0x5A, 0x5B, 0x5C, 0x5D, 0x5E, 0x5F};

// Tenemos 2 arreglos con los estados de cada laser del arpa
para poder realizar lo eventos MIDI y la polifonia
//byte arpaAnterior[12] = {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0,
0};
//byte arpaActual[12] = {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};
byte arpaAnterior[9] = {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};
byte arpaActual[9] = {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};
```

```

// Envia MIDI para tocar nota
void tocarNota(char nota){
    putc(0x90);
    putc(nota);
    putc(0x7F);
}

// Envia MIDI para apagar nota
void apagarNota(char nota){
    putc(0x90);
    putc(nota);
    putc(0x00);
}

void main(){

    // 0 es salida
    // 1 es entrada
    set_tris_c(0b11110000);
    set_tris_b(0b00000000);
    set_tris_d(0b01111100);

    while(true){

        if(bit_test(notal)){
            arpaActual[0] = '1';
            if(arpaActual[0] != arpaAnterior[0]){
                arpaAnterior[0] = arpaActual[0];
                tocarNota(octava3[0]);
            }
        }

        if(!bit_test(notal)){
            if(arpaAnterior[0] == '1'){
                arpaActual[0] = '0';
                arpaAnterior[0] = arpaActual[0];
                apagarNota(octava3[0]);
            }
        }
    }
}

```



```

if(bit_test(nota2)){
    arpaActual[1] = '1';
    if(arpaActual[1]!= arpaAnterior[1]){
        arpaAnterior[1] = arpaActual[1];
        tocarNota(octava3[2]);
    }
}

if(!bit_test(nota2)){
    if(arpaAnterior[1] == '1'){
        arpaActual[1] = '0';
        arpaAnterior[1] = arpaActual[1];
        apagarNota(octava3[2]);
    }
}

if(bit_test(nota3)){
    arpaActual[2] = '1';
    if(arpaActual[2]!= arpaAnterior[2]){
        arpaAnterior[2] = arpaActual[2];
        tocarNota(octava3[4]);
    }
}

if(!bit_test(nota3)){
    if(arpaAnterior[2] == '1'){
        arpaActual[2] = '0';
        arpaAnterior[2] = arpaActual[2];
        apagarNota(octava3[4]);
    }
}

if(bit_test(nota4)){
    arpaActual[3] = '1';
    if(arpaActual[3]!= arpaAnterior[3]){
        arpaAnterior[3] = arpaActual[3];
        tocarNota(octava3[5]);
    }
}

if(!bit_test(nota4)){
    if(arpaAnterior[3] == '1'){
        arpaActual[3] = '0';
    }
}

```

```

        arpaAnterior[3] = arpaActual[3];
        apagarNota(octava3[5]);
    }
}

if(bit_test(nota5)){
    arpaActual[4] = '1';
    if(arpaActual[4] != arpaAnterior[4]){
        arpaAnterior[4] = arpaActual[4];
        tocarNota(octava3[7]);
    }
}

if(!bit_test(nota5)){
    if(arpaAnterior[4] == '1'){
        arpaActual[4] = '0';
        arpaAnterior[4] = arpaActual[4];
        apagarNota(octava3[7]);
    }
}

if(bit_test(nota6)){
    arpaActual[5] = '1';
    if(arpaActual[5] != arpaAnterior[5]){
        arpaAnterior[5] = arpaActual[5];
        tocarNota(octava3[9]);
    }
}

if(!bit_test(nota6)){
    if(arpaAnterior[5] == '1'){
        arpaActual[5] = '0';
        arpaAnterior[5] = arpaActual[5];
        apagarNota(octava3[9]);
    }
}

if(bit_test(nota7)){
    arpaActual[6] = '1';
    if(arpaActual[6] != arpaAnterior[6]){
        arpaAnterior[6] = arpaActual[6];
        tocarNota(octava3[11]);
    }
}

```

```

}

if(!bit_test(nota7)){
    if(arpaAnterior[6] == '1'){
        arpaActual[6] = '0';
        arpaAnterior[6] = arpaActual[6];
        apagarNota(octava3[11]);
    }
}

if(bit_test(nota8)){
    arpaActual[7] = '1';
    if(arpaActual[7] != arpaAnterior[7]){
        arpaAnterior[7] = arpaActual[7];
        tocarNota(octava4[0]);
    }
}

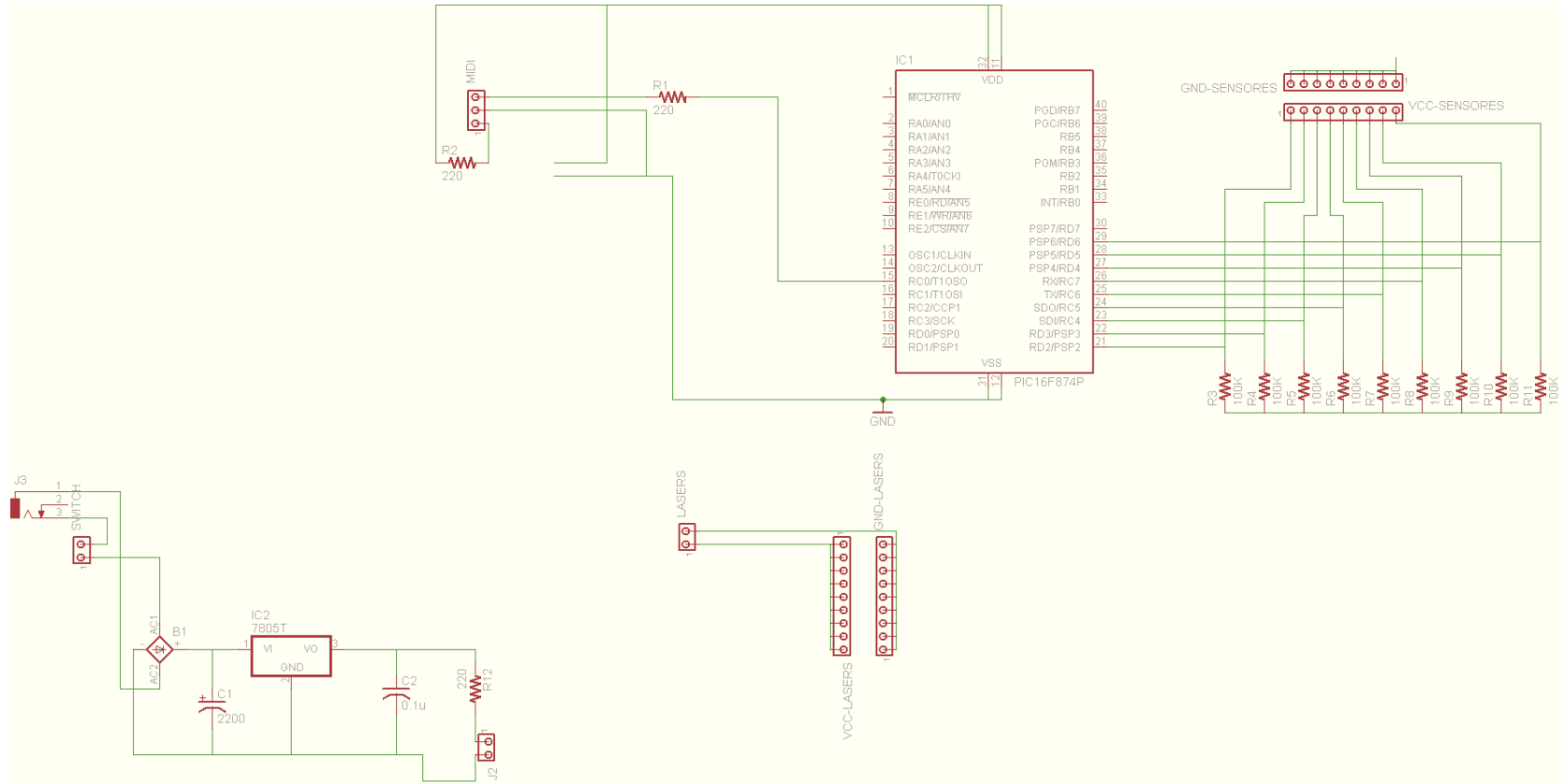
if(!bit_test(nota8)){
    if(arpaAnterior[7] == '1'){
        arpaActual[7] = '0';
        arpaAnterior[7] = arpaActual[7];
        apagarNota(octava4[0]);
    }
}

if(bit_test(nota9)){
    arpaActual[8] = '1';
    if(arpaActual[8] != arpaAnterior[8]){
        arpaAnterior[8] = arpaActual[8];
        tocarNota(octava4[2]);
    }
}

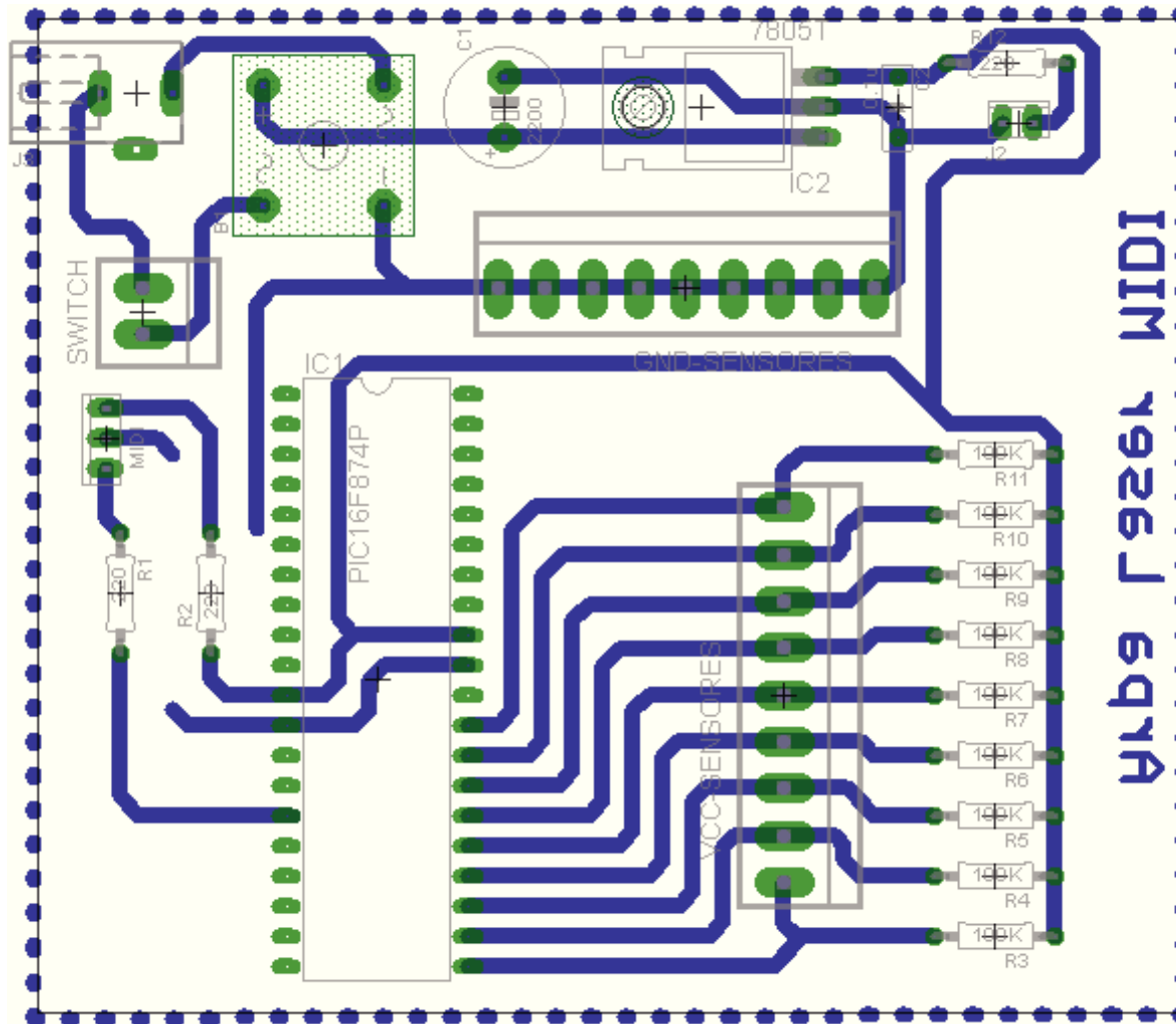
if(!bit_test(nota9)){
    if(arpaAnterior[8] == '1'){
        arpaActual[8] = '0';
        arpaAnterior[8] = arpaActual[8];
        apagarNota(octava4[2]);
    }
}
}
}
}

```

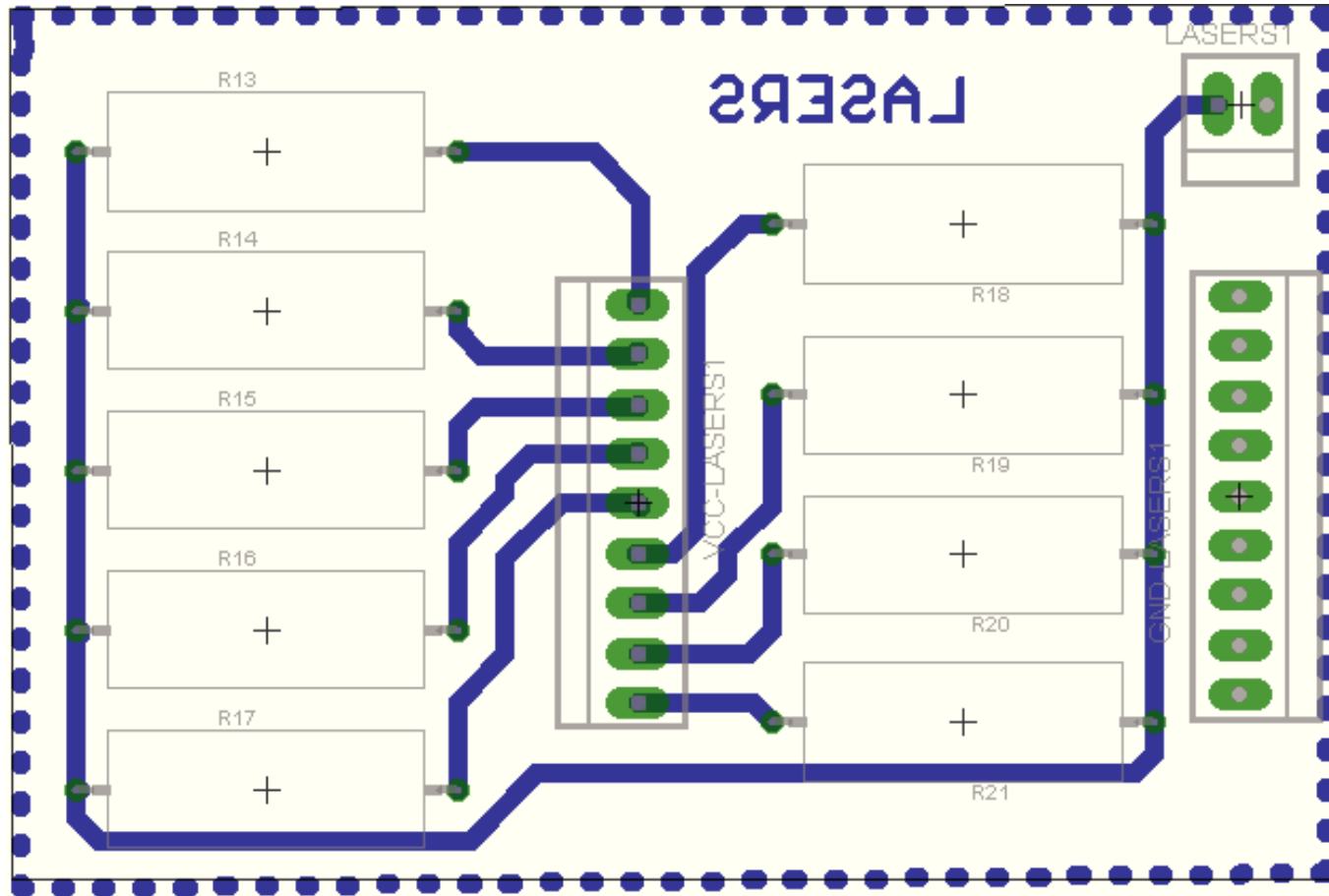
## Anexo C. Esquemático General Arpa Láser MIDI



### Anexo D. Circuito Electrónico Impreso #1



## Anexo E. Circuito Electrónico Impreso #2



## Anexo F. Fotos Arpa Láser MIDI

### Cuerpo General



### Sensores Infrarojos



## Anexo G. Fotos Arpa Láser MIDI

### Láser



### Cuerpo General

