

TRABAJO FINAL

ESTROBOSCOPIO LARÍNGEO AUTOMÁTICO

Alumno: Lautaro González Luján

Director: Ms. Ing. Esteban Lucio González

Codirector: Dr. Ing. Alejandro Uriz

Fecha: Abril 2018

Laboratorio de Comunicaciones, Facultad de Ingeniería

UNMDP



RINFI se desarrolla en forma conjunta entre el INTEMA y la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

Tiene como objetivo recopilar, organizar, gestionar, difundir y preservar documentos digitales en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de Materiales y Ciencias Afines.

A través del Acceso Abierto, se pretende aumentar la visibilidad y el impacto de los resultados de la investigación, asumiendo las políticas y cumpliendo con los protocolos y estándares internacionales para la interoperabilidad entre repositorios



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

INDICE

Tabla de contenido

INDICE	2
Tabla de contenido	2
Glosario.....	5
Resumen	6
Introducción	9
Capítulo 1 – Las cuerdas vocales	11
1.1 Producción de la voz	11
1.1.1 Aparato respiratorio	11
1.1.2 Aparato fonador	12
1.1.3 Aparato resonador.....	12
1.2 Estroboscopia	13
1.3 Aplicación clínica de la laringoestroboscopia	14
1.4 Exploración funcional estroboscópica	14
1.4.1 Introducción.....	15
1.4.2 Principios básicos.....	16
1.4.3 Aplicación.....	16
1.4.4 Estudio laringoestroboscópico	17
1.4.5 Principios de interpretación	18
1.4.5 Patología vocal.....	20
1.4.6 Valoración estroboscópica.....	24
1.5 Estroboscopios en el mercado	24
1.5.1 STROBOLED – Ecleris	25
1.5.2 STROBOLIGHT – Ecleris.....	25
1.5.3 ATMOS Strobo 21 LED	26
Capítulo 2 – El estroboscopia	27
2.1 Esquemático	28
2.2 Componentes del equipo	29
2.2.1 Filtro de línea.....	29

Trabajo Final – Estroboscopio Laríngeo Automático

2.2.2 Fuentes de Tensión.....	29
2.2.3 Reguladores de tensión	30
2.2.4 Circuito de entrada.....	31
2.2.5 Microcontrolador DSPic 33FJ128GP802.....	32
2.2.6 Comunicación Bluetooth	32
2.2.7 Microcontrolador Pic18f2550	32
2.2.7.1 Panel frontal	33
2.2.7.2 Display LCD	33
2.2.8 Optoacoplador.....	34
2.2.9 Etapa de potencia.....	34
2.2.10 Fuente de Corriente.....	34
2.2.11 LED	35
2.2.12 Fibra óptica	35
Capítulo 3 – Diseño y desarrollo del Hardware	37
3.1 Diseño del circuito de entrada	37
3.1.1 Micrófono y entrada del mismo	37
3.1.2 Amplificador	40
3.1.3 Filtro Anti-Aliasing	41
3.2 Reguladores de tensión	43
3.3 Microcontrolador DsPIC33FJ128GP802	45
3.3.1 Características del DSPIC33FJ128GP802	46
3.3.2 Mapeado del DSPIC33FJ128GP802	48
3.4 Microcontrolador Pic18f2550	50
3.4.1 Características Pic18f2550	50
.....	51
3.4.2 Mapeado del Pic	52
3.5 Etapa de potencia.....	54
3.5.1 Optoacoplador.....	54
3.5.2 MOSFET IRFZ44N	55
3.5.3 Fuente de corriente	59
3.5.4 LED	61

Trabajo Final – Estroboscopio Laríngeo Automático

3.5.5 Primeras pruebas.....	62
4 - Implementación del firmware	65
4.1 Implementación en el DSPic 33FJ128GP802	65
4.1.1 Características dedicadas	65
4.1.2 Algoritmo de extracción de la frecuencia fundamental F0.....	67
4.1.3 Configuración del Timer1	68
4.1.4 Interrupción por UART	69
4.1.5 Diagrama de flujo	71
4.2 Implementación en el Pic 18f2550.....	72
4.3 Módulos Bluetooth.....	72
4.3.1 Características técnicas	72
4.3.2 Configuración.....	73
5 – Diseño y armado, de placas y equipo	75
5.1 Diseño de placas	75
5.1.1 Cálculo de ancho de pistas	75
5.1.2 Placas	76
5.2 Diseño de la carcasa del equipo externo.....	79
5.3 Armado del equipo y presentación	82
Conclusiones y futuras mejoras.....	84
Bibliografía.....	89
Agradecimientos.....	91

Glosario

¹ Edema: presencia de un exceso de líquido en algún órgano o tejido del cuerpo que, en ocasiones, puede ofrecer el aspecto de una hinchazón blanda.

² Sésil: se suele utilizar para expresar la falta de un órgano que sirva de pie o soporte.

³ Pediculados: presencia de un exceso de líquido en algún órgano o tejido del cuerpo que, en ocasiones, puede ofrecer el aspecto de una hinchazón blanda.

⁴ Epidermoides: se suele utilizar para expresar la falta de un órgano que sirva de pie o soporte.

⁵ Carcinoma: tumor maligno que se forma a partir del tejido epitelial de los órganos.

⁶ Parético: de la paresia o relacionado con ella.

⁷ Inervación: conexión o acción que ejerce el sistema nervioso sobre un órgano. Puede ser motora, sensitiva o vegetativa.

Resumen

La voz es uno de los elementos de la comunicación y está íntimamente relacionada con los aspectos emocionales de la persona. Expresarse y comunicarse por medio de la voz es una de las necesidades más importantes para el ser humano y, en consecuencia un elevado número de personas la utiliza como elemento fundamental en su profesión. Sin embargo, la fonación no sólo se ve afectada por la profesión de la persona y el uso que se le da a la misma, sino también por los hábitos tóxicos, tales como el consumo de tabaco, que tiene una alta prevalencia en nuestro medio (35% según el Ministerio de Salud de la Nación).

El habla, como señal acústica, se produce a partir de las ondas de presión que salen de la boca y las fosas nasales de un locutor. El proceso comienza con la generación de la energía suficiente (flujo de aire) en los pulmones, la modificación de ese flujo de aire en las cuerdas vocales, y su posterior perturbación por algunas constricciones y configuraciones de los órganos superiores. Así, en el proceso fonador intervienen distintos órganos a lo largo del llamado tracto vocal.

El conjunto de órganos que intervienen en la fonación puede dividirse en tres grupos bastante bien delimitados:

- Cavidades infragloticas (sistema sub-glotal) u órgano respiratorio.
- Cavidad laríngea u órgano fonador.
- Cavidades supragloticas.

De estas cavidades solo interesan para este trabajo las dos primeras. Las cavidades infragloticas constan de los órganos propios de la respiración (pulmones, bronquios, y tráquea), que son la fuente de energía para todo el proceso de producción de voz.

En el proceso de inspiración, los pulmones toman aire, bajando el diafragma y agrandando la cavidad torácica. En el momento de la fonación, la espiración, provocada por la contracción de los músculos intercostales y del diafragma, aporta la energía necesaria para generar la onda de presión acústica que atravesará los órganos fonadores superiores.

La cavidad laríngea es la responsable de modificar el flujo de aire generado por los pulmones y convertirlo (o no), en una señal susceptible de excitar adecuadamente las posibles configuraciones de las cavidades supragloticas.

El último cartílago de la tráquea, el cricoides, forma la base de la laringe, cuyo principal órgano son las cuerdas vocales que son dos pares de repliegues compuestos de ligamentos y músculos. El par inferior son las llamadas cuerdas vocales verdaderas, que pueden juntarse o separarse mediante la acción de los músculos crico-aritenoides lateral y posterior, y que están protegidas en su parte anterior por el cartílago tiroides, el más importante de la laringe, abierto por su parte posterior. Finalmente, la parte superior de la laringe está unida al hueso hioides. A la apertura que queda entre las cuerdas vocales se le denomina glotis.

Trabajo Final – Estroboscopia Laríngea Automática

La cavidad laríngea está terminada por la epiglotis, un cartílago en forma de cuchara, que permite cerrar la apertura de la laringe en el acto de la deglución.

La cualidad de sonoridad de los sonidos se produce por la acción vibradora de estas cuerdas vocales. El mecanismo de la vibración se produce de la siguiente forma: Si suponemos que inicialmente las cuerdas vocales están juntas, la presión subglotal se incrementa lo suficiente para forzar a las cuerdas vocales a separarse, al separarse, el aire pasa a través de ellas y la presión subglotal disminuye, momento en el que la fuerza de los músculos hace que las cuerdas vocales vuelvan a juntarse. Cuando las cuerdas vocales se juntan, el flujo de aire disminuye y la presión subglotal aumenta de nuevo, con lo que se vuelve a reproducir el ciclo (esquemático en la Figura 14), y esta vibración de las cuerdas vocales produce pulsos casi periódicos de aire (llamado pulso glotal) que excitan el sistema por encima de la laringe.

A esta frecuencia de vibración se la denomina frecuencia fundamental, y sus valores típicos oscilan entre los 60 Hz. para un hombre voluminoso, y los 300 Hz. para una mujer o un niño. La señal generada en las cuerdas vocales puede variar en frecuencia e intensidad según varíe la masa, la longitud y la tensión de las mismas. Luego se verá la forma de onda producida por este mecanismo.

Al emitirse un sonido vocal, se produce una ondulación de la mucosa de las cuerdas vocales. Al ondular aparece un movimiento de separación y aproximación (ciclo vocal) que genera el sonido. La observación de esta ondulación es de suma importancia ya que permite en algunos casos diagnosticar parálisis de las cuerdas vocales, nódulos, etc.

Lamentablemente, dicho ciclo vocal es un fenómeno demasiado rápido para que pueda verlo el ojo humano, que solo percibe fenómenos dinámicos de hasta cinco o seis imágenes por segundo. Es ahí, donde un instrumento conocido como estroboscopia se manifiesta sumamente útil. Este es un instrumento electrónico que permite iluminar las cuerdas vocales de manera directa en sincronía con su movimiento. Esto produce el conocido efecto estroboscópico de inmovilización de la imagen.

El equipo adquiere la fonación emitida por el paciente y realizando un procesamiento de la señal para determinar la frecuencia fundamental de la misma. Esta última coincide con la frecuencia fundamental del movimiento de las cuerdas vocales (también conocida como *Pitch*). Dicho instrumento, emite pulsos de luz sincronizados con la frecuencia fundamental del movimiento de las cuerdas vocales. Cada vez que éstas son iluminadas, se hallan en la misma posición en la cual se encontraban respecto del pulso de luz previo generando el efecto estroboscópico de parecer estáticas. Variando levemente la frecuencia de salida de los pulsos de luz, se puede iluminar las cuerdas vocales en diferentes momentos de su ciclo de funcionamiento permitiendo de esta manera ver una versión en “cámara lenta” del movimiento de las mismas. La utilización de este equipo es de suma importancia para la prevención primaria de enfermedades crónicas del aparato fonatorio.

Trabajo Final – Estroboscopia Laríngea Automática

El proyecto se basa en el diseño de un estroboscopio laríngeo adaptando una fuente de luz portátil y compacta, con tecnología de LED, de 80 Watts. La ventaja de este equipo es la utilización de la fuente de luz que ya cuenta con el LED de alta potencia controlado por una fuente de corriente constante para extender su vida útil y controlar la intensidad del LED, y además trae un cable de fibra óptica para inducir el haz de luz a las cuerdas vocales del paciente. El equipo es capaz de captar la frecuencia fundamental de la voz en tiempo real y poder pulsar la fuente de corriente para lograr el efecto estroboscópico buscado.

El núcleo principal del estroboscopio se basa en la capacidad del mismo para determinar con eficiencia y exactitud la frecuencia fundamental (F_0) de una fonación.

Al instrumento mencionado, se le conecta un micrófono para sentir el sonido de la fonación emitida. Luego de un acondicionamiento de la señal de audio se realiza un procesamiento digital de la señal adquirida mediante el empleo de un microcontrolador dsPIC. A través del uso de la técnica “*Ping Pong Buffering*” (el cual es básicamente un doble buffer que incrementa la velocidad de transferencia) y el acceso directo a memoria (DMA) se logró un flujo de datos constante, para el volcado de los mismos, entregados por el ADC del dsPIC.

Una vez obtenida la frecuencia fundamental de la voz del paciente (F_0), En uno de los puertos de salida del PIC se genera un tren de pulsos cuya frecuencia coincide con la calculada previamente. La misma posee un rango de frecuencias entre 50 y 800 Hz. Debido a que la frecuencia mínima no fue capaz de obtenerse a través del módulo PWM que posee el dsPIC, se optó por desarrollarla por medio de software.

A su vez, se utilizó un optoacoplador para aislar eléctricamente la etapa de potencia del LED, del puerto de salida dsPIC, por donde egresa la señal anteriormente mencionada.

Mediante este proyecto se busca contribuir al desarrollo industrial nacional de productos innovadores que puedan sustituir a equipos importados, logrando transferir a la sociedad soluciones tecnológicas de bajo costo que permitan mejorar su calidad de vida.

Por último, si bien no se han realizados pruebas con pacientes, ya que estas deben ser realizadas por un profesional médico (otorrinolaringólogo), se desarrolló un banco de prueba para poder realizar mediciones y calibrar el equipo. El banco constaba de un ventilador, donde se conocía sus rpm para poder buscar el efecto estroboscópico con nuestro equipo.

Introducción

Expresarse y comunicarse por medio de la voz es una de las necesidades más importantes para el ser humano y, en consecuencia un elevado número de personas la utiliza como elemento fundamental en su profesión, es decir, la voz educa, entretiene, informa, expresa o comunica.

Este uso profesional de la voz suele genera un gran número de consultas al fonoiatra u otorrinolaringólogo, debido a dificultades que surgen con el uso o abuso de la misma. En general las consultas son realizadas por personas muy activas, que abusan durante horas de trabajo vocal realizado en condiciones ambientales o acústicas no siempre adecuadas.

Cuando el deseo profesional de realizar su tarea cotidiana por medio de una fonación adecuada no sea alcanzado por motivos ambientales, económicos o laborales, esa persona que trabaja con su voz, se esforzará, modificando sus hábitos vocales. Su proceso fonador tolerará abusos o malos usos durante un tiempo recurriendo a compensaciones o adaptaciones, pero estas conductas de uso vocal alteradas no le permitirán cumplir con idoneidad sus tareas habituales.

Esta conexión entre enfermedad y mal funcionamiento, asociado a un uso desfavorable de los mecanismos psicofisiológicos del organismo como un todo es común en actividades vocales, en las que es necesario hablar con frecuencia y prolongadamente, muchas veces en ámbitos o estados emocionales inapropiados; en estos casos se suele desatender al abuso vocal que llevan aparejadas esas actividades y sus posibles consecuencias.

Generalmente se reflexiona acerca de cómo se produce y sólo se toma conciencia de su valor, cuando se altera su rendimiento, disminuye o se pierde.

Por lo expuesto, se puede decir que la voz es uno de los elementos de comunicación y está íntimamente relacionada con los aspectos emocionales de la persona.

Sin embargo, la fonación no sólo se ve afectada por la profesión de la persona y el uso que se le da a la misma, sino también por los hábitos tóxicos, tales como el consumo de tabaco. Debido a la alta prevalencia (35%, según el Ministerio de Salud de la Nación) de personas fumadoras en nuestro país, el estudio laringoestroboscópico es de suma importancia para la prevención primaria de enfermedades crónicas del aparato fonatorio, sean oncológicas o no, ya que este hábito es el principal factor de riesgo para este tipo de patologías. Este estudio requiere de una breve inspección (aproximadamente 2 minutos) del estado de la laringe, donde se encuentran las cuerdas vocales. Gracias al cual, se pueden diagnosticar disfonías, pólipos, nódulos, quistes y patologías oncológicas; como así también se puede determinar la consistencia de los tejidos y el grosor de la mucosa laríngea, entre otros.

Durante muchos años, los problemas relacionados con disfunciones del tracto vocal humano no resultaban una tarea sencilla para los médicos especialistas en esta área. A medida que avanzó la tecnología fueron surgiendo un abanico de equipos destinados a facilitar la tarea de los médicos especialistas. Pero algunos de los equipos que se pueden encontrar en los centros de salud de Argentina hoy en día, no solo son antiguos, sino que la tecnología usada en su fabricación es muy simple. Si bien estos equipos son útiles para su

fin, hoy en día son mejorables en cuanto a prestaciones y funcionamiento. Algunos equipos más modernos, que pueden encontrarse en clínicas u hospitales, suelen ser importados, sus prestaciones son mejores, pero sus costos son sumamente elevados. Surge así la necesidad de desarrollar un equipo que cumpla con las mismas prestaciones que un equipo importado, pero a un costo mucho menor, logrando ser más accesible para los servicios de salud de ámbito público y privado. De esta manera se podría brindar una mejor calidad del servicio a aquellas personas que requieran realizarse estudios relacionados con el tracto vocal. Lo cual conlleva a una detección precoz de determinadas patologías, mejorando el pronóstico y brindando un eficaz tratamiento, evitando así, riesgos innecesarios para el paciente.

El principal inconveniente que enfrentaban los otorrinolaringólogos a la hora de realizar un diagnóstico certero sobre un problema relacionado con las cuerdas vocales, era la imposibilidad de observarlas de manera directa. La razón de ello se basa en que las cuerdas vocales son básicamente dos pares de repliegues conformados de ligamentos y músculos que vibran en forma sincronizada y simétrica en un rango de frecuencias que oscila entre los 60 Hz y los 400 Hz cuando se exhala aire a través de las mismas. En consecuencia, el ojo humano no es capaz de seguir el movimiento descrito por los músculos en cuestión, haciendo la tarea muy complicada sin el uso de un equipo adecuado.

Lo enunciado anteriormente alentó el uso de diferentes técnicas clínicas con el propósito de facilitar el estudio de las patologías relacionadas con las cuerdas vocales. Sobre esta problemática mencionada, uno de los dispositivos más ampliamente utilizados es el estroboscopia.

El estroboscopia es un dispositivo electrónico que permite observar el movimiento vibratorio de las cuerdas vocales como si estas estuviesen estáticas o incluso se movieran en cámara lenta. Dicho instrumento, básicamente, emite pulsos de luz sincronizados con la frecuencia fundamental del movimiento de las cuerdas vocales. La frecuencia fundamental (F_0) de la señal de voz se define como la tasa de pulsos glotales por unidad de tiempo, generados por la vibración de las cuerdas vocales durante los segmentos de voz.

Cada vez que las mismas son iluminadas, éstas se hallan en la misma posición en la cual se encontraban respecto del pulso de luz previo generando el efecto estroboscópico de parecer estáticas.

Como se mencionó anteriormente, el equipo que aquí se describe, tiene la gran ventaja innovadora de realizar el cálculo automático de la frecuencia fundamental de la voz en tiempo real y a partir de esta, pulsar la fuente de corriente constante que controla un LED de alta potencia. Y de esta manera lograr el efecto estroboscópico buscado.

Capítulo 1 – Las cuerdas vocales

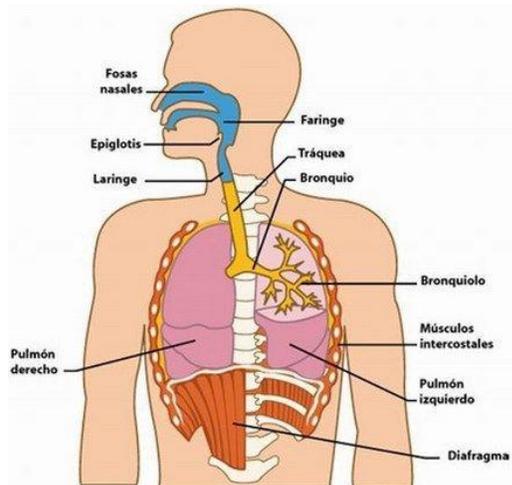
1.1 Producción de la voz

Como se describió previamente, el aire entra a los pulmones a través del mecanismo natural de la respiración. A medida que el aire es exhalado desde los pulmones a través de la tráquea (una especie de tubo de aire) se producen vibraciones en las cuerdas vocales (a modo de un oscilador de relajación) dentro de la laringe. Las cuerdas vocales son dos músculos pequeños que se tensan para producir sonidos agudos y se relajan para los sonidos graves. El flujo de aire es trozado en pulsos cuasi periódicos cuya frecuencia depende de la tensión de las cuerdas vocales y son filtrados en frecuencia y modulados en amplitud al pasar a través de la faringe (la cavidad torácica), la cavidad de la boca y la cavidad nasal. Dependiendo de la posición de varias articulaciones (mandíbula, lengua, velum, labios, y boca) serán producidos diferentes sonidos.

Al mismo tiempo el sonido producido por la laringe y la boca adquiere su timbre característico al resonar dentro de las cavidades de resonancia ubicadas en los huesos, pecho, laringe, boca, nariz y cráneo. A través de este mecanismo, la voz también se amplifica naturalmente.

Los aparatos que intervienen en la producción de la voz son básicamente tres: Aparato Respiratorio, Aparato Fonador y Aparato Resonador **[1]**.

1.1.1 Aparato respiratorio



Capítulo 1, Figura 1 - Sistema respiratorio

En la respiración diafragmática (Figura 1 – Sistema respiratorio), que es la que utilizamos en la técnica vocal, el diafragma que es el músculo debajo de los pulmones desciende. De esta manera se crea un centro de baja presión en los pulmones en relación a la presión del aire en el exterior.

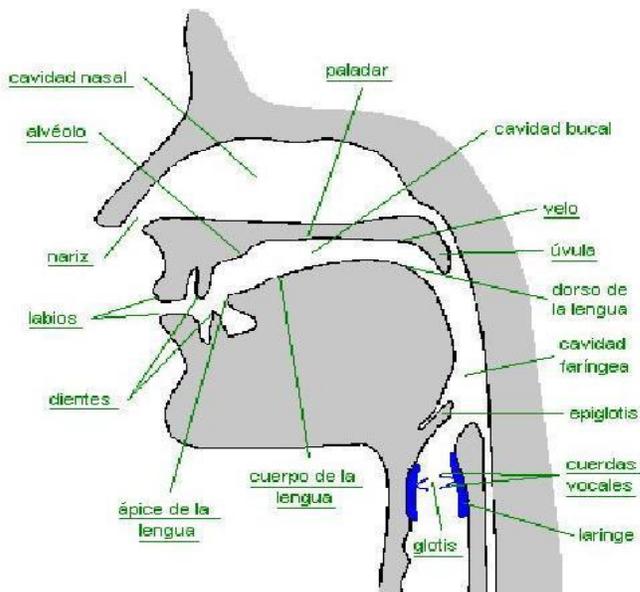
Como consecuencia de este centro de baja presión el aire entra para compensar el vacío, a través de la nariz y la boca, pasando por la tráquea hacia los pulmones.

Seguidamente el diafragma vuelve a la posición inicial y se crea el proceso contrario. Se crea un centro de alta presión del aire en los pulmones, lo que impulsa el aire a salir a través de la tráquea hacia la nariz y boca.

La epiglotis es una válvula que permanece abierta cuando respiramos y se cierra cuando tragamos para impedir que los alimentos o la saliva entren a la laringe y resto del sistema respiratorio.

La laringe es fácil de reconocer por la protuberancia que se ve en el cuello de los hombres, que tienen la laringe más grande y por ello su voz es más grave. Dentro de la laringe se encuentran las cuerdas vocales.

1.1.2 Aparato fonador



Este aparato es el responsable de transformar el flujo de aire en la voz (Figura 2). Cuando el aire pasa por las cuerdas vocales se produce un sonido con un tono en particular dependiendo de la tensión en las cuerdas vocales.

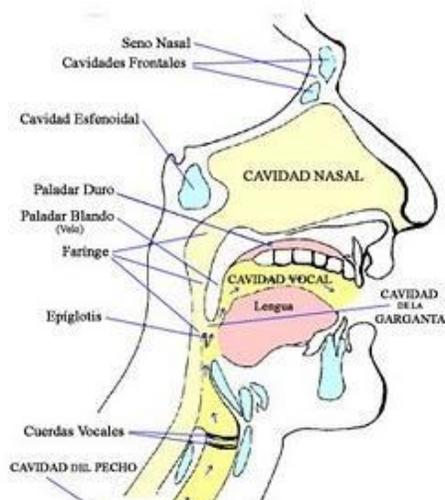
Luego el sonido se transforma por medio de la acción de los dientes, la lengua, el paladar, los labios y mejillas en sonidos característicos que se pueden diferenciar como fonemas (sonidos articulados). A este fenómeno se le conoce como articulación.

Capítulo 1, Figura 2 - Aparato fonador

1.1.3 Aparato resonador

Por último pero no menos importante están los resonadores. Son las cavidades, a lo largo de la cabeza y el pecho, las que nos ayudan a amplificar el sonido de forma natural (Figura 3).

Además la construcción anatómica de cada quien incluyendo los resonadores, es lo que le da a la voz su timbre en particular, y por ello se puede distinguir las voces de diferentes personas con tanta exactitud, que se puede saber quién está hablando sin necesidad de verle. Aunque no se ve en la imagen, la cavidad del pecho es también muy importante sobre todo para la producción de notas graves.



Capítulo 1, Figura 3 - Aparato resonador

1.2 Estroboscopia

El estroboscopia es un instrumento inventado por el matemático e inventor austriaco Simon von Stampfer en 1829, que permite visualizar un objeto que está girando como si estuviera inmóvil o girando muy lentamente. Este principio es usado para el estudio de objetos en rotación o vibración, como las partes de máquinas y las cuerdas vibratorias. Fue desarrollado en la misma época en la que el físico belga Joseph Plateau daba a conocer su fenaquistiscopio.

La técnica clínica que hace uso del estroboscopia con el objeto de realizar un estudio o determinar una patología relacionada con las cuerdas vocales se la conoce como laringoestroboscopia. Para realizar el análisis en cuestión, se utiliza un endoscopio y un micrófono de laringe. El micrófono de laringe se acopla a la garganta del paciente, pudiendo de esta forma captar las vibraciones de las cuerdas a nivel del cartílago tiroideos, cuando el paciente realiza una fonación.

El estroboscopia adquiere la fonación emitida por el paciente y realiza un procesamiento de la señal para determinar la frecuencia fundamental de la misma. Esta última coincide con la frecuencia fundamental del movimiento de las cuerdas vocales (también conocida como Pitch). Posteriormente, el dispositivo emite pulsos de luz sincronizados con la frecuencia previamente calculada. Los pulsos de luz viajan a través de un conjunto de fibras ópticas que se introducen en la garganta del paciente mediante el empleo de un endoscopio. A su vez, este último, posee otro conjunto de fibras ópticas que permiten captar la imagen de las cuerdas iluminadas en los instantes precisos, dando de esta forma la posibilidad de ser observadas.

Como los pulsos de luz emitidos por el estroboscopio poseen la misma frecuencia que la del movimiento que las cuerdas vocales, éstas se encontrarán en la misma posición cada vez que son iluminadas, produciéndose el efecto estroboscópico de parecer estáticas.

Una característica adicional de estos equipos es la posibilidad de crear el denominado efecto de ralentización. Si la frecuencia de los pulsos de luz emitidos por el estroboscopio se altera ligeramente respecto de la frecuencia fundamental del movimiento de las cuerdas, entonces, cada vez que las mismas son iluminadas se encontrarán en una posición levemente diferente comparada con la que se encontraban al ser iluminadas por el pulso de luz previo. De esta forma, se podrá observar el comportamiento dinámico de las mismas. La velocidad del movimiento observado dependerá de la diferencia entre la frecuencia de emisión de los pulsos y la frecuencia de movimiento real de dichos órganos. Esta modalidad de funcionamiento, se la conoce como ralentización [2].

1.3 Aplicación clínica de la laríngeostroboscopia

En la actualidad, la aplicación clínica de la laríngeostroboscopia ayuda a [3]:

- Documentar e identificar los aspectos fisiológicos y anatómicos de la voz hablada y cantada.
- Diagnosticar problemas relacionados con las cuerdas vocales.
- Utilizar el material para educación y discusión clínica entre los médicos, pacientes, estudiantes de medicina y fonoaudiología. Además, el material visual de la laríngeostroboscopia es un elemento más de diagnóstico y permite determinar un tratamiento como así también evaluar la voz.
- Confirmar un diagnóstico médico.
- Proveer realimentación durante la terapia vocal.
- Determinar la consistencia de los tejidos, el grosor de la mucosa (neoplasmas, nódulos, leucoplaquia y cáncer).
- Evaluar la recuperación de la función de la cuerda vocal después de la cirugía.
- Diagnosticar el tono del músculo (parálisis versus paresias).
- Seleccionar tratamientos (fonoaudiólogo o quirúrgico).

1.4 Exploración funcional estroboscópica

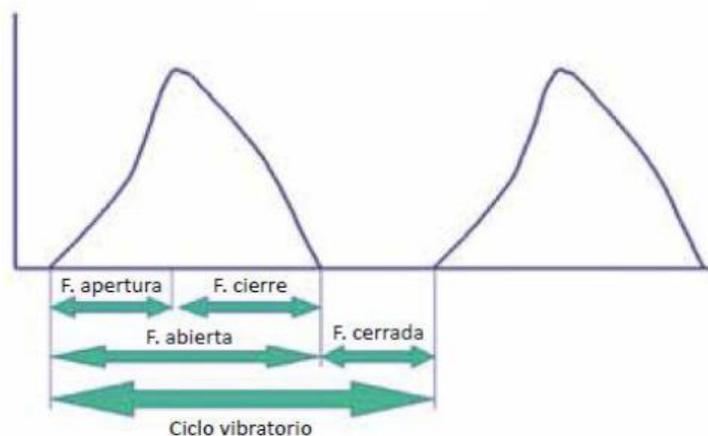
La exploración con estroboscopia es la prueba instrumental más importante que puede hacerse en una consulta de voz. La calidad de los equipos se mide por la intensidad de la fuente de luz y por la rapidez y la capacidad de sincronía. Deben comprobarse la correcta posición del micrófono de contacto, la orientación de la cámara y el foco. Evitar el vaho y las secreciones en la lente.

Si se realiza con óptica flexible, para ver las cuerdas hay que acercarse lo más posible a ellas, guardando el equilibrio entre una perfecta visión y la no alteración de la emisión. Si se realiza con óptica rígida, tirar suavemente de la lengua y mantener centrada la imagen.

1.4.1 Introducción

Al emitirse un sonido vocal, el aire procedente de los pulmones pasa a través de la glotis aducida, se produce una ondulación de la mucosa de las cuerdas vocales. Al ondular aparece un movimiento de separación y aproximación (ciclo vocal) que genera el sonido. Las fases del ciclo vocal pueden observarse en la Figura 4.

La sucesión de ciclos produce una señal sonora cuya frecuencia estará dada por la frecuencia de los contactos, y la intensidad, por la fuerza con que se produzca el contacto entre la superficie de las cuerdas vocales.



Capítulo 1, Figura 4 - Fases del ciclo vocal

La frecuencia de estos ciclos vocales puede variar según se trate de la voz de un hombre (100-150 ciclos por segundo), de una mujer (200-270 ciclos por segundo), de un niño (220-280 ciclos por segundo), de una voz cantada, etc. Sin embargo, el ciclo vocal es un fenómeno demasiado rápido para que pueda verlo el ojo humano, que solo percibe fenómenos dinámicos de hasta cinco o seis imágenes por segundo (si no, lo ve borroso), o para ser recogido por los sistemas habituales de filmación (25-30 imágenes por segundo) [4].

Para poder ver los movimientos ondulatorios de la mucosa de las cuerdas vocales es necesario un sistema de filmación de alta velocidad (2.000-4.000 imágenes por segundo). Después de filmarlo a esa velocidad se reproduce a la velocidad habitual (25-30 imágenes por segundo) y se ve a cámara lenta. Estos sistemas de filmación ultrarrápida son muy caros y requieren unas condiciones de luz extremas y unas exigencias técnicas que hacen que no sean utilizables como método de exploración habitual. El movimiento de las cuerdas vocales

puede apreciarse a menor velocidad, e incluso detenerse, mediante la ilusión óptica de la estroboscopia.

1.4.2 Principios básicos

Cuando una imagen incide en la retina permanece en ella durante 0,2 segundos. Gracias a este fenómeno se puede ver con continuidad los fotogramas de una película. Imaginando que un fenómeno tan rápido como el de la apertura y cierre de la glotis tiene lugar en la oscuridad, que ocurre a 100 ciclos por segundo y que todos los ciclos son exactamente iguales. Imaginando ahora que esas cuerdas vocales en movimiento se iluminan con un breve destello de luz intensa de 0,01 segundos. Al observar esto con nuestros ojos o mediante una cámara, se puede ver una imagen precisa de lo que ocurre en ese instante.

Debido a la brevedad de la duración del destello de luz o flash, proveniente de un LED de alta potencia, la imagen que se tiene de las cuerdas vocales será nítida y no estará afectada por el movimiento. Gracias a la propiedad de la persistencia de las imágenes en la retina, la imagen permanecerá en nuestros ojos aproximadamente 0,2 segundos [4].

Por último, imaginando que se repiten una serie de destellos o de manera sincrónica a la frecuencia del cierre y la apertura de las cuerdas vocales, es decir, a 100 destellos por segundo. Como la frecuencia de los destellos y la de los ciclos vocales coinciden, y los ciclos vocales son iguales, cada destello ilumina las cuerdas vocales en el mismo instante del ciclo vocal. La imagen será la de unas cuerdas que se han parado en una posición del ciclo vocal, aunque como es lógico persisten los fenómenos dinámicos durante la fonación.

Continuando con el ejemplo anterior, si en lugar de repetir los destellos a una frecuencia de 100 ciclos/seg se cambia a una frecuencia de 99 destellos/seg, ya no estarán sincronizadas las frecuencias de los ciclos vocales. Por un lado se tiene la frecuencia de las cuerdas vocales o ciclos vocales (100 ciclos/seg, $1/100 = 0,01$), y por otro la frecuencia de fuente de iluminación (99 destellos/seg, $1/99 = 0,0101$). Esta falta de sincronismo en un ciclo supone que cada destello iluminara un instante de un ciclo vocal con un ligero retraso con respecto al ciclo vocal anterior. Así se incrementa progresivamente el desfase entre la frecuencia de destello y la de los ciclos vocales, de manera que la posición que se observa con el primer destello no se repite otra vez hasta que no tiene lugar el destello número 101. Hasta entonces se han iluminado 100 posiciones de las cuerdas vocales, que permiten reconstruir un ciclo y visualizarlo a cámara lenta.

1.4.3 Aplicación

De acuerdo con el principio físico de la estroboscopia, su aplicación se limita al estudio de fenómenos periódicos o casi periódicos, pues no permite una valoración fiable de fenómenos aperiódicos o caóticos. Otra de sus limitaciones es la necesidad de disponer de un mínimo de emisión vocal estable de tres segundos para sincronizar la frecuencia de disparo del LED con la frecuencia fundamental. No es posible, por lo tanto, visualizar el inicio

de la fonación ni patrones fonatorios que supongan cambios rápidos en la frecuencia de la fonación, como los que pueden aparecer en la conversación o durante el canto. En los casos en que sea difícil mantener una frecuencia fonatoria estable o el trastorno de la voz sea importante, las imágenes deben interpretarse con sumo cuidado porque la estroboscopia puede ser engañosa y no válida.

Las indicaciones para su uso como procedimiento diagnóstico son muy amplias. Es el método de elección para valorar la mayor parte de la patología de las cuerdas vocales, y en un 20 % a un 25 % de los casos de los trastornos de la voz es el método de diagnóstico definitivo.

En el postoperatorio de la fonomicrocirugía (tratamiento quirúrgico vocal), la observación de las cuerdas vocales de manera seriada mediante estroboscopia permite determinar el grado de recuperación. Tras una intervención de fonomicrocirugía hay controversia acerca de cuándo reanudar el uso de la voz. El propósito del reposo vocal es evitar un traumatismo vocal no deseado y la formación de una cicatriz vocal.

El uso del estroboscopio ayuda al fono cirujano a permitir el uso seguro de la voz. Si el paciente presenta una excelente onda mucosa y amplitud de vibración a la semana de la cirugía, es probable que no necesite un tiempo de reposo más prolongado. Si se observa un exudado fibrinoso espeso sobre la cuerda vocal, significa que no ha habido curación por primera intención, por lo que es prudente limitar el uso de la voz.

1.4.4 Estudio laringoestroboscópico

El esquema de estudio estroboscópico que se utiliza habitualmente se basa en el diseñado por Hirano (1981), que luego fue ampliado por el mismo Hirano y por Bless (1993):

- Frecuencia fundamental.
- Periodicidad.
- Análisis de los movimientos verticales y horizontales.
- Cierre glótico.
- Simetría de los movimientos bilaterales.
- Regularidad de las vibraciones.
- Características y grado de la ondulación de la mucosa.

La frecuencia fundamental se registra en la pantalla del estroboscopio. Inicialmente, la observación debe realizarse con una frecuencia fundamental y una intensidad cómodas.

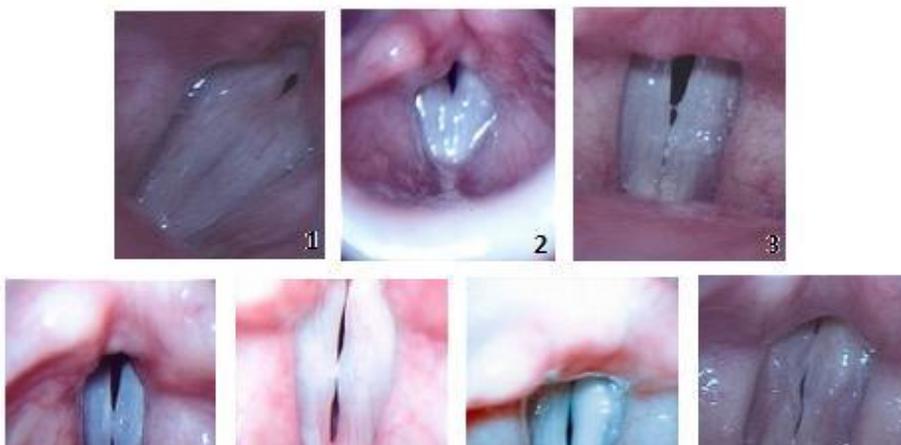
La exploración debe continuar con la valoración durante la emisión de frecuencias altas y bajas, para comprobar si el patrón vibratorio coincide con las características normales. En los agudos (falsete) se debe considerar como normales un cierre incompleto de glotis, una amplitud muy reducida y una ondulación mínima o ausente. En la voz grave (de pecho), la fase de cierre es muy prolongada y la ondulación muy evidente.

Es preciso tener en cuenta las diferentes características de los distintos tipos de fonación, así como la influencia de la intensidad sobre el patrón vibratorio, para evitar errores de interpretación

1.4.5 Principios de interpretación

1.4.5.1 Cierre glótico

El grado de cierre glótico puede ser incompleto o completo, y permanente o intermitente. Cuando el defecto de cierre es muy notorio, puede valorarse sin necesidad de la estroboscopia; cuando es por otras causas, como irregularidad, ausencia o rigidez de la mucosa en el borde libre de una o ambas cuerdas, atrofia muscular o masa que impida el cierre, la estroboscopia es primordial. En la Figura 5 (Tipos de cierres glóticos) se muestran distintos tipos de cierres glóticos.



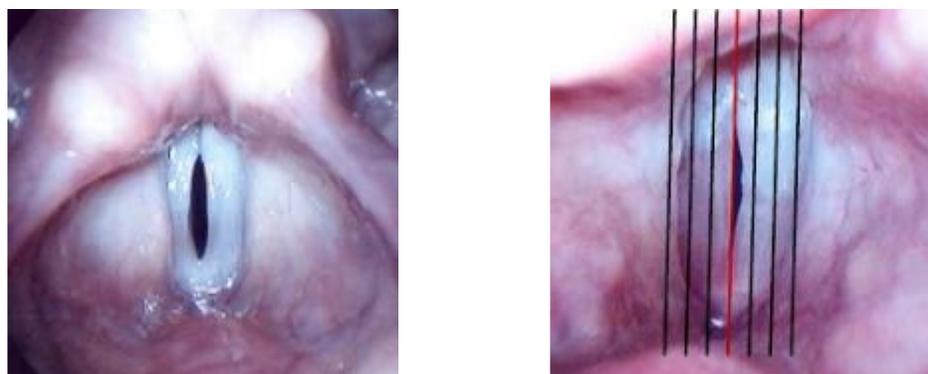
Capítulo 1, Figura 5 - Tipos de cierres glóticos (1: Sin hiato, 2: Triangular posterior, 3: Triangular medio-posterior, 4: duplo, 5: Reloj de arena, 6: Fusiforme, 7: Irregular)

1.4.5.2 Amplitud

El grado de desplazamiento de la onda mucosa con respecto a la línea media de la glotis y el punto de su extinción en el plano horizontal indica la amplitud del desplazamiento lateral. El desplazamiento en cada cuerda con respecto a la línea media debe valorarse de manera independiente para determinar si hay asimetría en la amplitud, lo que indicaría una diferencia en las propiedades mecánicas entre ambas cuerdas vocales. La amplitud, está

relacionada con la intensidad y la frecuencia, de manera que la amplitud aumenta al aumentar la intensidad y disminuye al aumentar la frecuencia.

Se considera normal cuando el desplazamiento se extiende aproximadamente entre un tercio y la mitad de la anchura de la cuerda vocal durante una fonación. La amplitud se encuentra afectada siempre que se alteren la masa o la elasticidad de la cuerda vocal (nódulos, pólipos, quistes, cicatrices, atrofias, etc.), como puede observarse en la Figura 6 (Asimetría de amplitud).



Capítulo 1, Figura 6 - Asimetría de amplitud

1.4.5.3 Asimetría de fase

Se interpreta que hay asimetría en la fase cuando los bordes libres se sitúan en la línea media o en el punto de máxima amplitud de forma asincrónica. Cuando no coinciden en la línea media y una cuerda se adelanta o retrasa con respecto a la otra, se considera que concurre una asimetría de la fase. La asimetría (Figura 7) puede ser constante o intermitente a lo largo de varios ciclos vibratorios, y se verá afectada en caso de alteraciones en la masa de la cuerda vocal, tanto epiteliales como subepiteliales, parálisis, etc.



Capítulo 1, Figura 7 - Asimetría de fase

1.4.5.4 Ondulación de la mucosa

El grado de ondulación de la mucosa se calcula por la extensión de la onda mucosa desde el borde interno (libre) de la cuerda vocal hasta su desaparición en la vertiente superior

externa (lateral). Lo que se aprecia es la ondulación de la mucosa a partir del momento en que se produce su separación hacia fuera en cada ciclo vocal, es decir, el desplazamiento horizontal de la mucosa que comienza después de la acumulación que se observa al terminar la fase vertical en la línea media.

El grado de ondulación depende de la rigidez de la mucosa. Cuando esta tensa por una elongación intensa de la cuerda vocal, o cuando hay una pérdida de elasticidad por inflamación, infiltración, fibrosis o sequedad, el movimiento ondulatorio se reduce en gran medida. La ondulación de la mucosa puede ser mayor cuando la superficie de la cobertura epitelial esta aumentada, como puede ocurrir en el edema de Reinke o en la degeneración polipoidea.

1.4.5.5 Ausencia de ondulación

Puede afectar a una cuerda vocal o a ambas, a toda su longitud o a una parte concreta. La ausencia de ondulación traduce una importante alteración de la situación del plano de cobertura de la cuerda vocal, lo que puede ser muy significativo para definir la lesión. Este hallazgo es realmente crucial para explicar una disfonía a la que no se encuentra justificación mediante la exploración laríngea con luz continua.

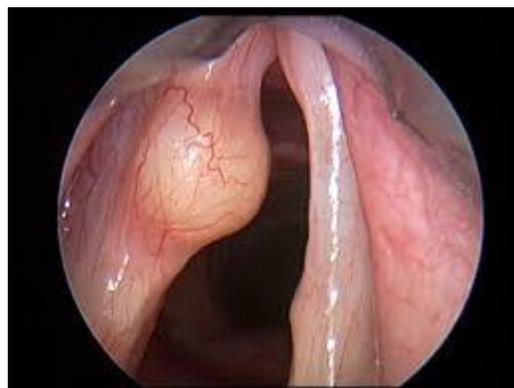
1.4.5 Patología vocal

1.4.5.1 Laringitis aguda

La patología se localiza en la capa superficial de la lámina propia. Si predomina el edema¹, la cubierta se convierte en anormalmente flexible, mientras que si predomina la inflamación se hace más rígida. Las anormalidades en el patrón vibratorio son mínimas: en caso de edema aparecen vibraciones aperiódicas, y si hay inflamación entonces la onda mucosa disminuye y el cierre glótico es incompleto.

1.4.5.2 Nódulos vocales

Normalmente se localizan en la unión del tercio medio con el anterior de las cuerdas vocales. Son lesiones blanquecinas, sésiles², de pequeño tamaño y en general bilateral. La lesión está confinada en la capa superficial de la lámina propia y consiste en un edema localizado. Suele ser simétrica y a menudo interfiere con el cierre completo de la glotis durante la fonación como puede observarse en la Figura 8 (Nódulos vocales).

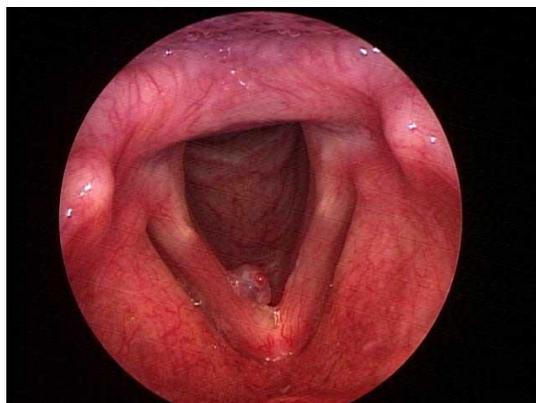


Capítulo 1, Figura 8 - Nódulos vocales

La principal ventaja del uso del estroboscopia para valorar las lesiones nodulares es que evita largos e innecesarios períodos de terapia vocal para tratar unas lesiones que requieren cirugía.

1.4.5.3 Pólipos laríngeos

Se desarrollan en el borde libre de las cuerdas, pueden ser de color rojizo o blanquecino, de variados tamaños, pediculados³ o sésiles, unilaterales o bilaterales (Figura 9 – Pólipo con edema).



Capítulo 1, Figura 9 - Pólipo con edema

La patología se localiza en la capa superficial de la lámina propia e impide el cierre glótico. La vibración de la cuerda contralateral se interfiere, dando lugar a una vibración asimétrica y aperiódica. La amplitud se reduce en la cuerda afectada y la onda mucosa está ausente en ese punto si el pólipo es hemorrágico o fibroso, pero puede estar aumentada si es edematoso y flexible.

1.4.6.4 Quistes vocales

Los más comunes son los epidermoides⁴, aunque en ocasiones se encuentran quistes de retención; los primeros son defectos congénitos, mientras que los segundos son lesiones adquiridas. Se localizan en la capa superficial de la lámina propia (Figura 10) e impiden el buen cierre glótico. Las propiedades mecánicas son asimétricas entre ambas cuerdas y se pierde la homogeneidad de la cuerda afectada. El borde libre de la cuerda no es lineal. La masa y la rigidez de la cubierta aumentan, y la rigidez es mayor que en los pólipos. La transición y el cuerpo no resultan afectados. La amplitud del desplazamiento lateral está muy disminuida en el lado afecto y no se observa onda mucosa sobre el quiste, hecho que permite diferenciar estas lesiones de los pólipos y nódulos.



Capítulo 1, Figura 10 - Quiste intracordal derecho

1.4.6.5 Cicatrices vocales

Pueden afectar a cualquier capa de la cuerda y se forman tras traumatismos vocales, con mayor frecuencia por una cirugía. Es una lesión que pasa desapercibida a cualquier método de exploración excepto la estroboscopia. Consiste en fibras colágenas densas que son mucho más rígidas que los tejidos normales de la cuerda. Su localización es muy variable. Si la cicatriz ocupa toda la extensión de la cuerda, esta es homogénea, mientras que si es localizada será heterogénea.

Las propiedades mecánicas de las cuerdas son asimétricas. La porción afectada siempre es más rígida y pueden estar afectados, además de la cubierta, la transición y el cuerpo. La presión sub-glótica tiende a aumentar para poner en movimiento dichas zonas de mayor rigidez. Una vez iniciado el movimiento, la vibración es asimétrica y aperiódica, con una amplitud del movimiento lateral limitada y ausencia de onda mucosa sobre la cicatriz. El cierre glótico a menudo es incompleto, sin un patrón característico.

1.4.6.6 Carcinoma

Se origina en el epitelio e invade en profundidad las demás capas de la cuerda. Suele ser unilateral. El cierre glótico es incompleto, aumentando la masa y la rigidez de todas las capas que estén afectadas. Durante la vibración se observa una marcada disminución del movimiento sobre el área afectada, sin que pueda verse onda mucosa. La estroboscopia permite detectar estas lesiones en estadios incipientes de la enfermedad, con las ventajas que ello comporta.



Capítulo 1, Figura 11 - Carcinoma

1.4.6.7 Parálisis recurrencial

Cuando se observa una parálisis vocal, es importante discernir su grado y naturaleza. La estroboscopia laríngea puede, con algunas limitaciones, sustituir a la electromiografía en el diagnóstico de estas lesiones. La glotis no se cierra por completo y la incompetencia glótica es notable. Las cuerdas son asimétricas y el borde libre de la cuerda afectada esta arqueado. La vibración es asimétrica y aperiódica. La amplitud está reducida en el lado paralítico, y la onda mucosa está reducida o ausente.

Si el músculo está totalmente paralizado y atrofiado, la cuerda presenta unos movimientos pasivos, como una bandera al viento; si por el contrario está parético⁶, o comienza a aparecer la reinervación⁷, se puede observar onda mucosa.



Capítulo 1, Figura 12 - Parálisis recurrencial

1.4.6.8 Lesiones bilaterales de las cuerdas vocales

Un problema que se plantea con mucha frecuencia es el diagnóstico diferencial entre los nódulos vocales y lesiones unilaterales (quiste o pólipo) con una lesión reactiva contralateral. Esta diferenciación es particularmente importante, pues los nódulos vocales se tratan en general con terapia vocal, mientras que el tratamiento de los pólipos y los quistes vocales suele consistir en fonocirugía combinada con terapia vocal.

Trabajo Final – Estroboscopia Laríngea Automática

1.4.6 Valoración estroboscópica

A continuación se muestra, un modelo del documento que el médico debe completar, luego de realizado la estroboscopia. Éste contempla, principalmente, los principios de interpretación mencionados anteriormente.

Valoración estroboscópica							
D/Dña. _____							
H° C°: _____ Fecha: ____/____/____							
Dr.: _____ Reg: _____							
J° C°: _____							
Borde CV		Liso/Recto			Rugoso/Irregular		F0: _____ SPL: _____
	D	1	2	3	4	5	Calidad vocal: _____
	I	1	2	3	4	5	
Cierre glotis	Completo	Defecto anterior	Irregular	Arqueado	Defecto posterior	Reloj de arena	Incompleto
Fase de cierre	Predominio de fase abierta (cuchicheo)		2	Normal	4	Predominio de fase cerrada (hiperaducción)	
	1			3		5	
Nivel vertical CV aprox.	Igual		D. inferior		I. Inferior		Dudoso
	1		2		3		4
Amplitud		Normal	Ligeramente disminuida	Moderadamente disminuida	Muy disminuida	No existe movimiento	
	D	1	2	3	4	5	
	I	1	2	3	4	5	
Onda mucosa		Normal	Ligeramente disminuida	Moderadamente disminuida	Muy disminuida	No existe movimiento	
	D	1	2	3	4	5	
	I	1	2	3	4	5	
Comportamiento vibratorio		Completo siempre	Ausencia parcial a veces	Ausencia parcial siempre	Ausencia completa a veces	Ausencia completa siempre	
	D	1	2	3	4	5	
	I	1	2	3	4	5	
Simetría de fase	Regular		A veces irregular		Casi siempre irregular		Siempre irregular
	1		2		3		4
Periodicidad/regularidad	Regular		A veces irregular		Casi siempre irregular		Siempre irregular
	1		2		3		4
Bandas ventriculares	Simetría del movimiento: 1. D > I			1. I > D		3. Igual	
Movimiento	Normal		Ligera compres.		Moderada compres.		Cierre completo
	1		2		3		4
Aritenoides	Simetría del movimiento: 1. D > I			1. I > D		3. Igual	
Movimiento	Normal		Amplio		Pobre		
	1		2		3		
Hiperfunción	1. No presente		2. Presente a veces		3. Siempre presente		
Firma: _____							

Capítulo 1, Figura 13 - Valoración estroboscópica

1.5 Estroboscopios en el mercado

En el mercado actualmente existen equipos que realicen las mismas funciones del estroboscopio a desarrollar, pero como se dijo anteriormente, el precio que poseen es elevado y los algoritmos de obtención de frecuencia de pitch entendemos que pueden ser mejorados. A raíz de esta problemática, es que surge la idea de realizar un equipo con

características similares a un precio inferior, y empleando algoritmos y hardware desarrollados en este proyecto. Los equipos existentes en el mercado son:

1.5.1 STROBOLED – Ecleris

El STROBOLED es un nuevo estroboscopio de Ecleris portátil y de diseño compacto y liviano. El STROBOLED de Ecleris [5] cuenta con la tecnología de auto-transición de fuente de luz que permite funcionar con la misma lámpara tanto en modo continuo como estroboscópico con solo la estimulación a través de la fonación del paciente.

Características del equipo:

- LED de alta potencia (80W).
- Compacto y fácil transporte.
- Cámara de video Procam incorporada en la unidad (opcional).

Este equipo tiene un precio de \$91.040,00.



Capítulo 1, Figura 14 - Stroboled

1.5.2 STROBOLIGHT – Ecleris

Strobolight es un equipo desarrollado con un novedoso sistema electrónico de control de luz (Xenon Auto Transition Technology). Tiene la característica única en el mercado de permitir funcionar con la misma lámpara de xenón de 180 watts tanto en modo continuo como estroboscópico.

Cuenta con micrófono de contacto, detección automática de la voz y cambio automático del modo de iluminación de continuo a estroboscópico. Permite control completo por medio del pedal y, detección y sincronización automática con la frecuencia

Trabajo Final – Estroboscopia Laríngea Automática

fundamental. Posee función manual para pacientes con muy baja capacidad pulmonar o cualquier otro que no pueda lograr una frecuencia fundamental. A diferencia del STROBOLED, incluye una torreta giratoria con múltiples conexiones compatible con todos los cables de fibra óptica.

Este equipo tiene un precio de: \$115.300,00



Capítulo 1, Figura 15 - Strobolight

1.5.3 ATMOS Strobo 21 LED

Este equipo de ATMOS [6], posee un diagnóstico de voz con luz clara y blanca, con la imagen congelada, modo ralentizado y luz piloto mediante tecnología LED. Permite almacenar la señal de audio. Frecuencia ajustable con pedal. Muestra la frecuencia de voz y el nivel de presión de sonido en un display LCD. Es utilizable como fuente de luz móvil para conectar a endoscopios existentes.

Este equipo en España tiene un precio de: 7.411 Euros

Existe una mejora que se llama LS31LED que permite variar la temperatura del color del LED y ofrece una mayor potencia lumínica. A diferencia del Strobo 21 LED, este es necesario conectarlo con fibra óptica.

Este equipo tiene un precio de: 11.675 Euros.



Capítulo 1, Figura 16 - ATMOS Strobo 21 LED

Capítulo 2 – El estroboscopia

El equipo propuesto en este proyecto es una continuación de una serie de desarrollos tendientes a producir un equipo que pueda ser comercializable. La idea tomó forma en el año 2006 con un primer prototipo que usaba una fuente de luz de baja potencia y un algoritmo relativamente simple corriendo en un microcontrolador de bajas prestaciones. Luego en el año 2014, en un segundo proyecto, se incrementó la potencia de cálculo del microcontrolador y la potencia del LED, pero pruebas del equipo demostraron que a pesar que el algoritmo funcionaba muy bien, al igual que toda la parte electrónica del equipo, aún seguía siendo insuficiente la cantidad de luz. Además de que se tuvieron problemas a la hora de acoplar la fibra óptica al equipo por falta de acopladores dedicados.

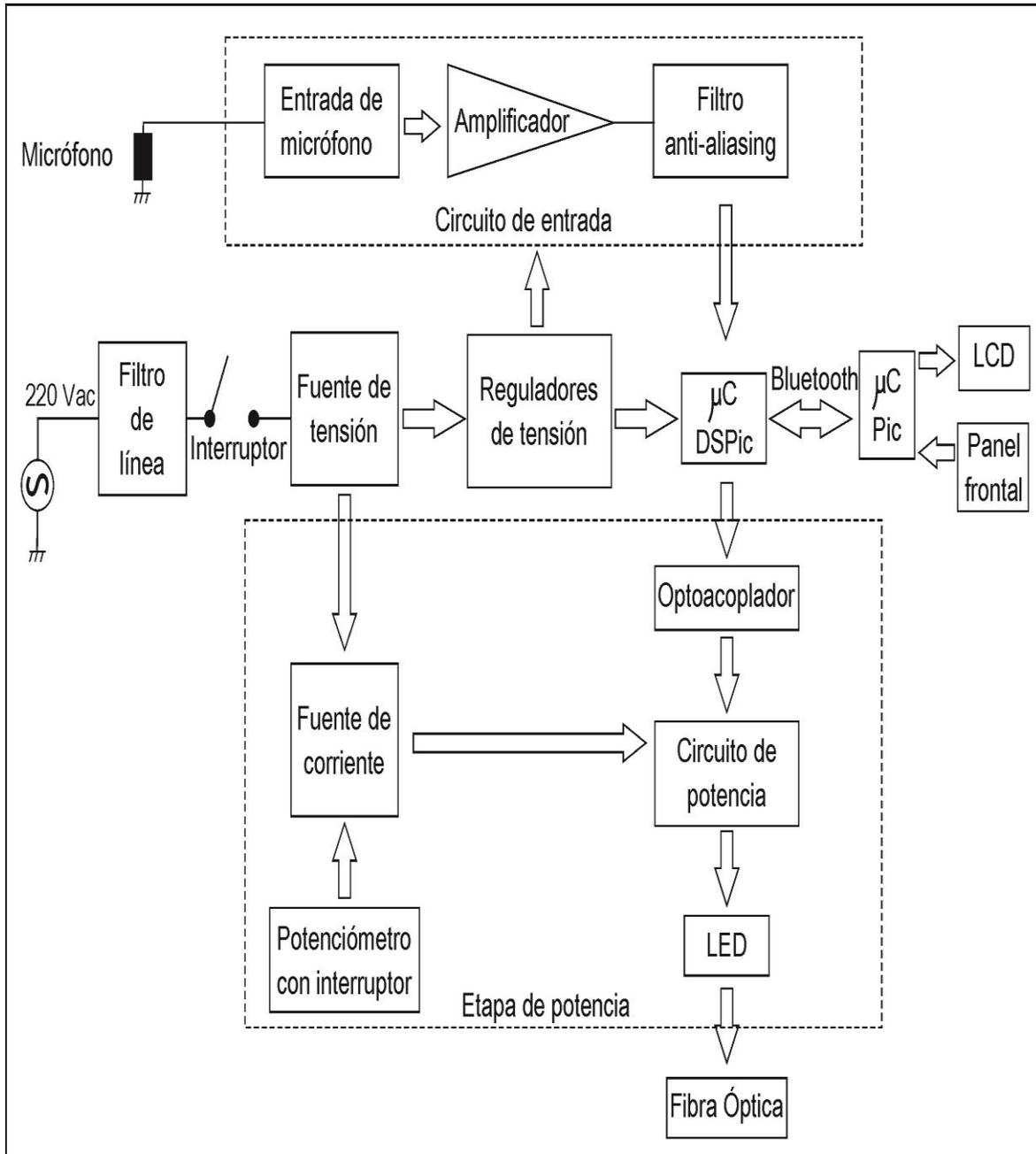
Es así que se decidió armar un nuevo prototipo pero orientado definitivamente a la producción de un equipo comercializable. Durante el proceso de búsqueda de fuentes de luz más potentes y conectores comerciales se llegó a la conclusión de que era más económico y menos burocrático comprar el equipo más económico (pero ya homologado) de la firma Ecleris (<http://www.ecleris.com/es/producto.php?id=89&cat=6>) y realizar sobre el mismo las modificaciones necesarias para llevarlo a tener las mismas prestaciones que los equipos más potentes (mencionados previamente) pero a costos más bajos, usando tecnología más avanzada y algoritmos propios.

Además, el diseño debe contemplar que la operación del equipo requiera la menor atención posible por parte del profesional a cargo del estudio, para permitirle concentrarse en el paciente y los resultados del mismo.

El núcleo del estroboscopia se basa en la capacidad del mismo para determinar con eficiencia y exactitud la frecuencia fundamental (F_0) de una fonación. Luego de dicho análisis se comanda una fuente de luz de alta potencia con la misma frecuencia calculada, con el propósito de generar un efecto estroboscópico y permitir la visualización de las cuerdas vocales.

2.1 Esquemático

A continuación se presentará un diagrama en bloques del equipo propuesto.



Capítulo 2, Figura 1 - Diagrama en bloques

2.2 Componentes del equipo

En este apartado se explicarán brevemente cada uno de los bloques presentados en el diagrama anterior.

2.2.1 Filtro de RFI

Los filtros tipo RFI ofrecen una solución económica para muchos problemas de interferencia en las plantas, causados por las emisiones de alta frecuencia de los driver e inversores para utilizados para variar la velocidad de motores. Estos filtros pueden prevenir que los driver e inversores interfieran con otras cargas electrónicas sensibles al reducir las emisiones de ruido de modo común y diferencial.

Generalmente, los sistemas de drives e inversores que utilizan estos filtros cumplirán con los estrictos requisitos de la directiva EMC (Clase A) y los límites de emisión de ruido de la FCC. Se necesita una prueba para verificar el cumplimiento de las normativas.

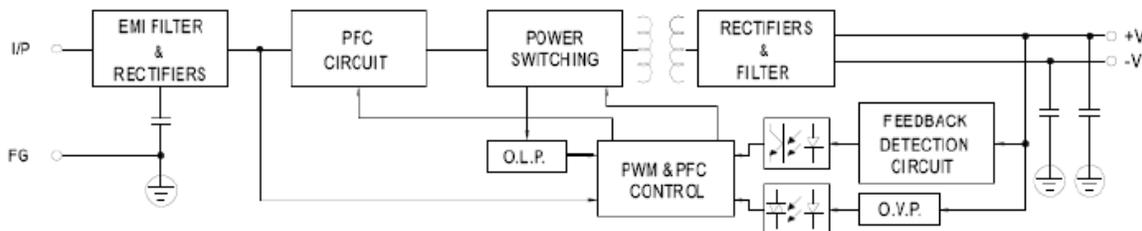
Los equipos que utilizan microprocesadores pueden ser sensibles a bajos niveles de distorsión de voltaje y al ruido eléctrico. La serie de filtros RF se instalan en los equipos que provocan el ruido eléctrico con el propósito de proteger otras cargas sensibles.

2.2.2 Fuentes de Tensión

Como se explicó anteriormente, el LED es alimentado por una fuente de corriente, que mejora su rendimiento y vida útil. Pero esta fuente de corriente, también requiere alimentación, la cual es brindada por la fuente de tensión **HDP PSF-125-12**.

Esta fuente convierte la tensión de línea en tensión continua de 12Vcc. Además, no solamente es utilizada para la alimentar la fuente de corriente, sino que también es utilizada para alimentar los ventiladores.

La **HDP PSF-125-12** es una fuente switching (fuente conmutada) CA/CC de 12V/10.5A. Posee un ripple y ruido menor a 100mV; y tiene una exactitud de +-2%



Capítulo 2, Figura 2 - Diagrama en bloques fuente de tensión

Para alimentar el circuito de entrada y el dsPIC, se utiliza una fuente de tensión distinta. Esto surge a partir de que la fuente de corriente y la fuente de tensión, no comparten masa. Esto quiere decir, que la fuente de corriente es una fuente flotante, por

lo tanto, para ser pulsada, es necesario que comparta masa con otra fuente flotante que alimente la señal de control utilizada para pulsarla.

Utilizamos la fuente FDRI 12V1000 del fabricante Pronext [25]. Posee las siguientes características:

- Certificada internacionalmente bajo normas IEC-60065 y IEC-60950. Certificación avalada por IQC.
- Fusible de protección de sobrecarga
- Carcasa ignífuga
- Eficiencia entre el 85-95% que eliminan la pérdida de energía y reduce el consumo

Al elegir la fuente, se tuvo en cuenta el consumo máximo de la placa, limitado por la máxima corriente que pueden entregar los reguladores. Además, el tamaño de la misma también influyó ya que se encontraría dentro de la fuente de luz.



Capítulo 2, Figura 3 - Fuente de tensión para alimentar circuito de entrada y dsPIC

2.2.3 Reguladores de tensión

Las tensiones necesarias para alimentar el microcontrolador y la etapa de entrada de audio, se obtuvieron mediante el uso de reguladores de tensión lineales. Estos son dispositivos electrónicos que permiten controlar la tensión de salida ajustando continuamente la caída de tensión en un transistor de potencia conectado en serie entre la entrada y la salida. Es decir que operan con una corriente continua, donde el nivel de tensión de la entrada siempre es superior al de salida.

Ventajas:

- Simplicidad de diseño.
- Para potencias menores a 10Watt, el dispositivo es de bajo costo.

Desventajas:

- Poseen una eficiencia del orden entre 30% y 60%.
- Disipación de calor.

Para alcanzar la tensión $V_{cc}=3,3V$ se utilizó el integrado uA78M33 y para obtener una tensión de $V_{cc}=5V$ se utilizó el integrado uA78M05.

2.2.4 Circuito de entrada

En este apartado se resumirán las etapas del circuito de entrada, desde el micrófono que capta a voz hasta la señal de salida que ingresa al del dsPIC.

2.2.4.1 Entrada de Micrófono

La entrada de micrófono consta básicamente de un conector estéreo hembra tipo plug de 3,5mm y un micrófono de pie para PC Noganet conector 3,5mm. Para su correcto funcionamiento, el mismo debe ser polarizado.

2.2.4.2 Amplificador

El amplificador, se encarga de elevar el nivel de señal generada por el micrófono, introduciendo la menor cantidad de ruido y distorsión posible, de manera que misma tenga un nivel de tensión adecuado para ser procesada por el dsPIC.

Se utilizó el amplificador operacional de bajo ruido TL074CN que se explicará su uso en el siguiente capítulo.

2.2.4.3 Filtro Anti-Aliasing

Tal como dice el Teorema de Muestro de Nyquist, para poder reconstruir una señal a partir de su versión muestreada, es necesario que dicha señal no posea componentes en frecuencia superiores a la mitad de frecuencia de muestreo. Por lo tanto, para cumplir este teorema, es necesario filtrar la señal de entrada, para limitar su ancho de banda y por eso es que se utilizan el filtro anti-aliasing.

Para la implementación del sistema se utilizó el filtro integrado MAX7404 de Maxim Inc. Este circuito integrado es un filtro pasa bajos elíptico de octavo orden al cual se le puede ajustar su frecuencia de corte (f_c) entre 1kHz y 10khz.

2.2.5 Microcontrolador dsPIC 33FJ128GP802

La implementación del algoritmo para encontrar la frecuencia fundamental de la voz, se implementó en un microcontrolador dsPIC 33FJ128GP802 de Microchip [8]. Como se puede ver en el nombre, se optó por utilizar un microcontrolador DSP (*Digital Signal Processor*) o en castellano, Procesador Digital de Señales.

DSP, es un sistema basado en un procesador o microprocesador que posee un conjunto de instrucciones, un hardware y un software optimizados para aplicaciones que requieran operaciones numéricas a muy alta velocidad. Debido a esto es especialmente útil para el procesado y representación de señales analógicas en tiempo real.

Si se tiene en cuenta que un DSP puede trabajar con varios datos en paralelo y un diseño e instrucciones específicas para el procesado digital, se puede dar una idea de su enorme potencia para este tipo de aplicaciones. Estas características constituyen la principal diferencia de un DSP y otros tipos de procesadores.

El microcontrolador, no solo se utilizará para la implementación del algoritmo, sino que también realizará la etapa de control del LED. A su vez, este micro se comunica vía Bluetooth con un microcontrolador Pic18f2550 enviándole el valor de la frecuencia fundamental de la voz, para que este la muestre en pantalla. Además el Pic maneja el panel frontal, donde el usuario puede elegir que función quiere realizar y este se lo comunica al dsPIC también mediante comunicación Bluetooth.

2.2.6 Comunicación Bluetooth

Bluetooth es una especificación industrial para Redes Inalámbricas de Área Personal (WPAN), que posibilita la transmisión de voz y datos entre diferentes dispositivos mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda ISM de los 2.4 GHz. Los principales objetivos que se pretenden conseguir con esta norma son:

- Facilitar las comunicaciones entre equipos móviles.
- Eliminar los cables y conectores entre estos.
- Ofrecer la posibilidad de crear pequeñas redes inalámbricas y facilitar la sincronización de datos entre equipos personales.

Como se mencionó anteriormente, en nuestro proyecto utilizamos la comunicación Bluetooth para realizar el cambio de información entre el dsPIC y el Pic. Lo realizamos utilizando dos módulos llamados HC-05. En el capítulo 4 se profundizará un poco más sobre el tema.

2.2.7 Microcontrolador Pic18f2550

Este microcontrolador Pic18f2550 [16] de 8 bits y al igual que el dsPIC, también es de la marca Microchip. Como puede notarse al ser de 8 bits, no es apto para realizar cálculos críticos ni un gran procesamiento de datos.

En nuestro proyecto el dsPIC es el encargado de realizar el trabajo pesado, el Pic es utilizado para realizar la interfaz con el usuario. Es este quien tiene el panel frontal donde el usuario puede elegir de qué manera utilizar el dispositivo. A su vez cuenta con un display LCD utilizado como interfaz visual. Además posee dos potenciómetros, que cuando se activa el modo manual, utilizando el ADC de 10 bits que tiene el micro, podemos obtener un valor de tensión y convertirlo en la frecuencia de disparo del LED, que es comandada por estos potenciómetros. Luego el valor es enviado por bluetooth al dsPIC.

2.2.7.1 Panel frontal

Como se mencionó anteriormente, el panel frontal es utilizado para la elegir la función de la etapa de control. Dentro de estas se encuentran:

- Fuente de luz: de esta manera, se deja de utilizar el algoritmo y el control del LED por el microcontrolador, dejando que el equipo interactúe en su forma original, como fuente de luz.
- Modo manual: este método es utilizado para pacientes en los que se presenta una dificultad detectar la frecuencia fundamental de la voz en su fonación.
- Automático: una vez encontrada la frecuencia fundamental de la voz del paciente, la fuente de corriente es pulsada para que el LED parpadee a la frecuencia fundamental de la voz.
- Relentización: en este caso, una vez adquirida la frecuencia fundamental de la voz, se produce una modificación de esa frecuencia para el control del LED. De esta manera se puede observar a las cuerdas vocales como si se movieran en cámara lenta.

2.2.7.2 Display LCD

El microcontrolador muestra en pantalla la frecuencia fundamental calculada o la manual conseguida y a su vez, sirve de guía para el usuario, para saber que función está utilizando.

Un módulo LCD es una pantalla de cristal líquido que permite visualizar ciertos caracteres. Para poder hacerlo funcionar, debe de estar conectado a un circuito en el que estén integrados los controladores del Display y sus respectivos pines para comandarlo. Sobre el circuito se encuentra el LCD en sí, rodeado por una estructura metálica que lo protege. Para el estroboscopia laríngea se utilizó el display LCD-016M002B VISHAY (16x2 Carácter LCD).

Por problemas de espacio físico en la fuente, surgió la necesidad de armar un equipo que contenga la pantalla y que sea externo al equipo principal. De esta manera, la pantalla utilizó un nuevo microcontrolador Pic18f2550, el cual se comunica con el DsPIC de manera inalámbrica. El protocolo de comunicación elegido para realizar la comunicación entre los dos microcontroladores fue Bluetooth.

2.2.8 Optoacoplador

Un optoacoplador, también llamado optoaislador o aislador acoplado ópticamente, es un dispositivo de emisión y recepción que funciona como un interruptor activado mediante la luz emitida por un diodo LED que satura un componente optoelectrónico, normalmente en forma de fototransistor o fototriac [18].

Es utilizado para aislar eléctricamente la etapa de potencia y la salida del dsPIC. Ya que el ingreso de una corriente parásita de la etapa de potencia a la salida del dsPIC, podría concluir en la quemadura de la misma.

2.2.9 Etapa de potencia

En esta etapa se diseñó un circuito para poder controlar el LED y hacer conmutar la fuente de corriente, a la frecuencia fundamental de la voz. Para esto se utilizó un MOSFET IRFZ44N el cual proporciona ampliamente las características para soportar la corriente y tensión utilizadas para controlar el LED.

A su vez, se realizaron los cálculos del disipador necesario para poder disipar la temperatura del MOSFET. Se tuvo en cuenta que el equipo cuenta con ventilación forzada a la hora de la elección del disipador.

2.2.10 Fuente de Corriente

Mayormente conocido como Driver de corriente, es un dispositivo electrónico que regula el flujo de electricidad asegurando que un LED o una serie de LEDs se alimenten siempre con el voltaje y la corriente adecuada independientemente de los cambios constantes en las propiedades eléctricas de los LED.

Los cambios de temperatura cambian la forma que los semiconductores de los LED reaccionan a la electricidad. El driver ajusta el voltaje que suministra a los LED para alimentarlo a con una corriente constante.

El driver también se ajusta a las continuas fluctuaciones de voltaje de la red eléctrica y evita que los LED se vean perjudicados por un exceso de tensión. Sin un driver adecuado el LED se puede sobrecalentar o descontrolar provocando una pérdida de rendimiento o fallo irreparable.

En nuestro caso, se utilizó el driver que venía incorporado en la fuente de luz. El núcleo de este driver es el integrado LM3434 de Texas Instruments. Nuestro driver se alimenta de 12V otorgados por la fuente de tensión y puede generar una salida de 4 a 20 Amper de continua, con una tensión de salida de 2,76 a 3,8 Vcc.

2.2.11 LED

La fuente de luz que se convirtió en un Estroboscopio, ya incluía el LED que se utilizó para realizar el equipo. Esta fue una de las ventajas que posee el equipo, ya que viene con la fuente de corriente necesaria para optimizar la función del LED.

El LED tiene una potencia de 80Watt, y a su vez tiene una potencia lumínica de aproximadamente 5000 lúmenes/Watt. Esto se debe a la nueva tecnología utilizada en los LED de potencia, llamada COB (*Chip on Board*).

Las luminarias LED COB son paquetes de múltiples LED que se unen en un único módulo de iluminación. En la práctica, sólo se aprecia un punto de luz, pero con mayor rendimiento lumínico. Es decir, con la misma potencia que un SMD se consiguen más lúmenes/watt.



Capítulo 2, Figura 4 - LED COB

2.2.12 Fibra óptica

La fibra óptica es un medio de transmisión, empleado habitualmente en redes de datos y telecomunicaciones, consistente en un hilo muy fino de material transparente, vidrio o materiales plásticos, por el que se envían pulsos de luz que representan los datos a transmitir. El haz de luz queda completamente confinado y se propaga por el interior de la fibra con un ángulo de reflexión por encima del ángulo límite de reflexión total, en función de la ley de Snell. La fuente de luz puede ser un láser o un diodo LED.

En los últimos años las fibras ópticas han empezado a ser muy utilizadas debido a las ventajas que este tipo de iluminación representa:

- Ausencia de electricidad y calor: esto se debe a que la fibra solo tiene la capacidad de transmitir los haces de luz, además de que la lámpara que ilumina la fibra no está en contacto directo con la misma.
- Se puede cambiar el color de la iluminación sin necesidad de cambiar la lámpara: esto se debe a que la fibra puede transportar el haz de luz de cualquier color sin importar el color de la fibra.

Trabajo Final – Estroboscopio Laríngeo Automático

- Por medio de fibras, con una sola lámpara se puede hacer una iluminación más amplia: esto es debido a que con una lámpara se puede iluminar varias fibras y colocarlas en diferentes lugares.

Los principios básicos de su funcionamiento se justifican aplicando las leyes de la óptica geométrica, principalmente, la ley de la refracción (principio de reflexión interna total) y la ley de Snell.

Su funcionamiento se basa en transmitir por el núcleo de la fibra un haz de luz, tal que este no atraviese el revestimiento, sino que se refleje y se siga propagando. Esto se consigue si el índice de refracción del núcleo es mayor al índice de refracción del revestimiento, y también si el ángulo de incidencia es superior al ángulo límite.

Capítulo 3 – Diseño y desarrollo del Hardware

A la hora de armar el equipo, podríamos decir que las tareas se dividieron en dos grupos importantes: Hardware y Software. En este capítulo hablaremos sobre el diseño y desarrollo de los circuitos necesarios de cada etapa para posterior implementación del software.

3.1 Diseño del circuito de entrada

Como se mencionó anteriormente en el capítulo 2, el circuito de entrada consta de 3 partes:

- Micrófono y entrada del mismo.
- Amplificador.
- Filtro anti-aliasing.

A continuación se detallará cada una de las mismas.

3.1.1 Micrófono y entrada del mismo

3.1.1.1 ¿Qué es un micrófono?

Un micrófono es un transductor que convierte la energía acústica en energía eléctrica. Normalmente es recomendable utilizar un micrófono que sea lo más transparente posible y que proporcione una señal eléctrica igual o lo más parecida a la señal acústica que estamos captando.

3.1.1.2 Características técnicas de los micrófonos

Según la fuente que se necesita grabar es necesario conocer las características que nos interesan, y estas son:

3.1.1.2.1 Sensibilidad

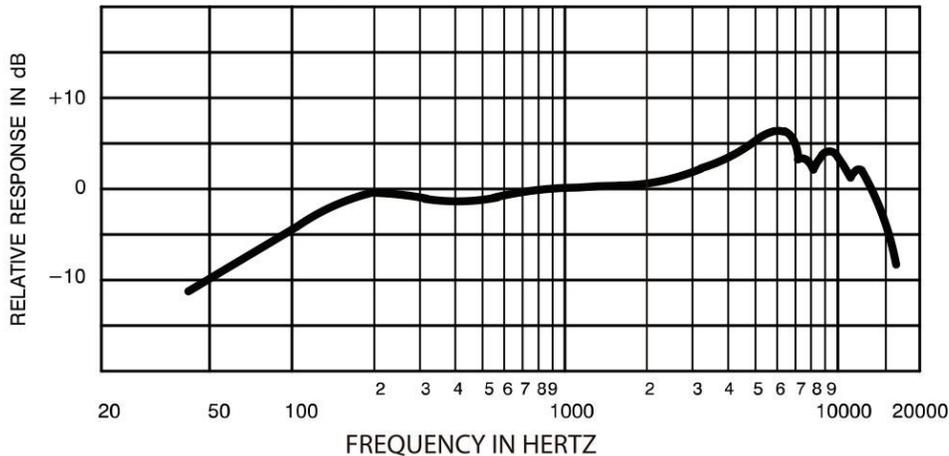
Refleja la eficiencia del micrófono en cuestión. La sensibilidad es el voltaje que proporciona el micrófono a su salida en función de la presión acústica que incide en su membrana (relación voltaje/presión).

Las condiciones para proporcionar la sensibilidad de un micrófono son: la frecuencia de la señal, la distancia entre el micrófono y la fuente sonora, y el ángulo de incidencia de la señal acústica.

3.1.1.2.2 Respuesta en frecuencia

Esta característica es de las más importantes porque representa la fidelidad del micrófono. Es la sensibilidad que tiene el micrófono en función de la frecuencia de la señal acústica.

Como se puede ver en el gráfico, dependiendo del micrófono, ese diagrama de bode



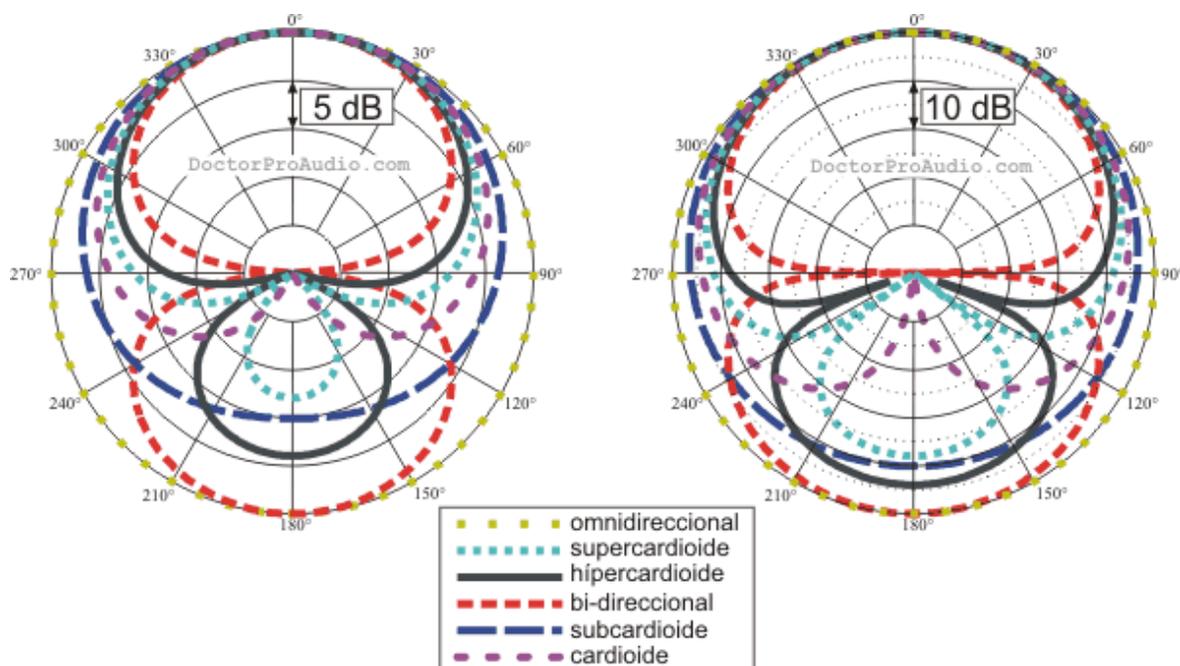
Capítulo 3, Figura 1 - Respuesta en frecuencia

puede variar. Lo ideal, es una respuesta plana desde los 0Hz hasta los 20KHz, pero también existen las respuestas personalizadas donde se filtran algunas frecuencias por algún motivo en especial.

3.1.1.2.3 Directividad o patrón polar

La directividad en un micrófono es su sensibilidad en función del ángulo de incidencia de la señal acústica. Hay distintos tipos de directividad en función de la construcción del micrófono:

- Omnidireccional: la sensibilidad del micrófono es la misma para todos los ángulos de incidencia.
- Bidireccional: misma sensibilidad por el ángulo 0° y 180° (frente y dorso de la membrana).
- Cardioide: combinación entre omnidireccional y bidireccional. Recibe este nombre por la forma de corazón de su representación gráfica. A grosso modo se puede decir que capta por delante pero no por detrás.
- Supercardioide: combinación entre omnidireccional y bidireccional en diferentes proporciones. Cuanto más cardioide sea un micrófono, más directivo es y menor es su ángulo de captación.
- Hipercardioide: es lo más direccional que puede ser un micrófono. El ángulo de captación de un micrófono hipercardioide es más pequeño que el de un micrófono con cualquier otro tipo de directividad.



Capítulo 3, Figura 2 - Gráfico de directividad

3.1.1.2.4 Impedancia de salida

Circuito equivalente. Al conectar a un micrófono, este pasa a ser un componente más del circuito eléctrico. Es la resistencia del micrófono frente al circuito eléctrico de la tarjeta.

3.1.1.2.5 Ruido equivalente

Nivel mínimo a partir del cual empieza a trabajar el micrófono. Es el ruido de fondo que genera el mismo a la salida, cuando no hay señal útil.

3.1.1.2.6 Nivel SPL máximo

Es el nivel de máxima presión acústica que soporta el micrófono a partir del cual crea distorsión.

3.1.1.2.7 Margen dinámico

Es el margen de nivel acústico en el que el micrófono responde manera óptima. Por encima del ruido equivalente y sin generar distorsión. Como se puede ver, está determinado por el ruido equivalente y el nivel SPL máximo.

3.1.1.2.8 Respuesta impulsional

Capacidad del micrófono de responder a señales transitorias. Este valor depende de la inercia que tenga la membrana. Afecta a la calidad de la captación en instrumentos con mucho ataque, como por ejemplo, la percusión.

3.1.1.3 Elección del micrófono

A la hora de elegir el micrófono, se estudió que necesidades eran básicas en el mismo, para poder realizar el estudio de la mejor manera posible. Una vez realizado esto, teniendo en cuenta la relación precio/calidad se eligió el siguiente producto:



Capítulo 3, Figura 3 - Micrófono NogaNet

Este micrófono posee las siguientes características:

- Sensibilidad: $-58\text{dBm} \pm 2\text{dBm}$.
- Rango frecuencia: 50-1600 Hz.
- Directividad: Omnidireccional.
- Impedancia de salida: $1,4\text{Kohm} \pm 30\%$.
- S/N Radio: 40dB.

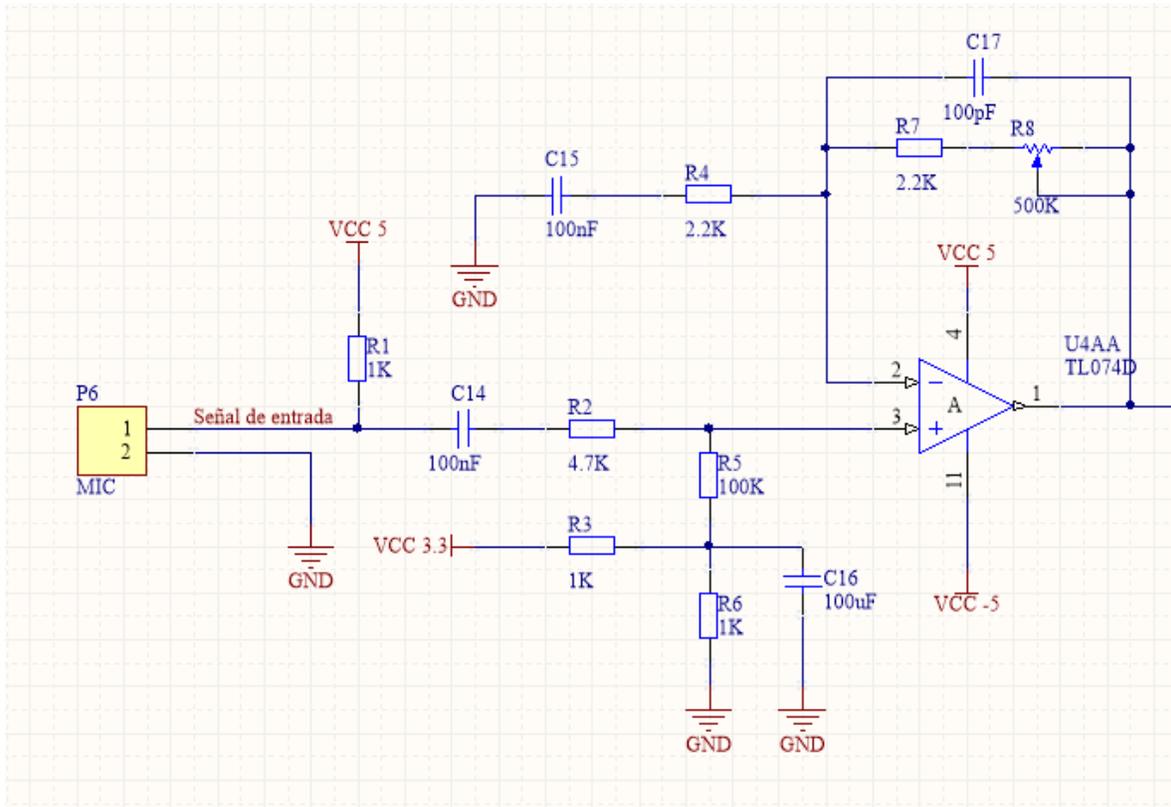
3.1.2 Amplificador

El amplificador, eleva el nivel de la señal generada por el micrófono, introduciendo la menor cantidad de ruido y distorsión posible, de manera que la misma tenga un nivel de tensión adecuado para ser procesada por el dsPIC. Como se mencionó anteriormente se utilizó el amplificador operacional de bajo ruido TL074CN [12].

Este se utiliza para las siguientes funciones:

- Polariza el micrófono para su correcto funcionamiento.
- Sumar un nivel de tensión continua a la señal de audio para ajustarlo al rango de entrada del ADC del dsPIC.
- Ajustar la ganancia por medio del preset.

En la siguiente imagen se puede observar el circuito utilizado para la polarización del micrófono.



Capítulo 3, Figura 4 - Circuito amplificador

3.1.3 Filtro Anti-Aliasing

A la salida del amplificador, se conecta la entrada del filtro. Este filtro es utilizado para cumplir con el Teorema de Muestro de Nyquist, que dice que, para poder reconstruir una señal a partir de su versión muestreada, es necesario que dicha señal no posea componentes en frecuencia superiores a la mitad de la frecuencia de muestreo. En otras palabras, que la frecuencia de muestreo tiene que ser el doble que el máximo valor de frecuencia tenga la señal a recuperar.

Para cumplir con el teorema mencionado, se realiza un filtrado de la señal a muestrear, generando una nueva versión con un ancho de banda limitado. A este filtro, se lo llama: filtro anti-aliasing o antisolapamiento.

Para la implementación de dicho filtro, se tomaron en cuenta las siguientes observaciones:

- La frecuencia de corte debe ser inferior a la mitad de la frecuencia de muestreo utilizada en el conversor A/D.

Trabajo Final – Estroboscopia Laríngeo Automático

- La atenuación a la frecuencia de Nyquist ($F_s/2$) debe ser tal que el nivel de señal a dicha frecuencia sea menos o igual al equivalente de la mitad del bit menos significativo del convertidor.
- El orden del filtro debe ser lo menor posible.

Dichas observaciones se obtienen, en parte, a partir de los requerimientos establecidos por el convertidor analógico-digital, y de una relación costo/beneficio.

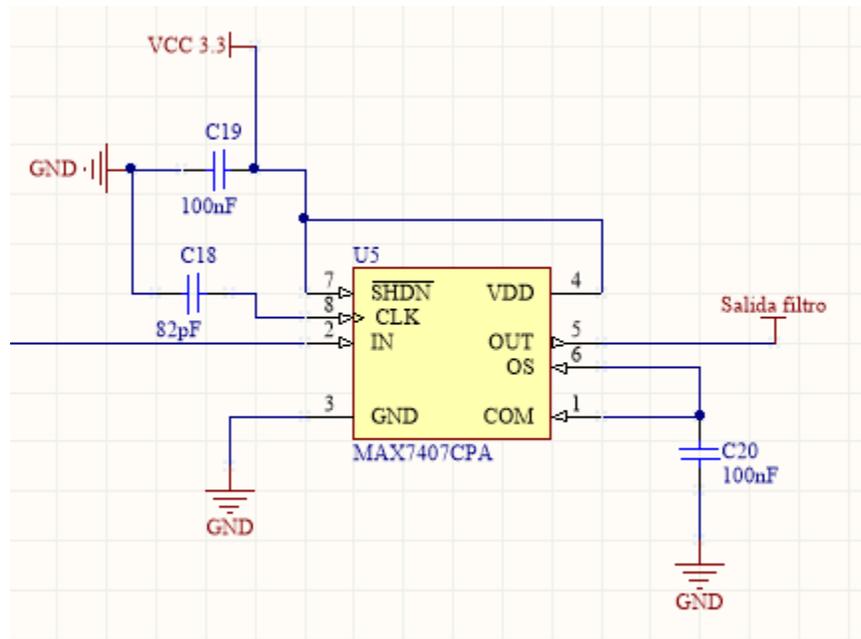
Se optó por utilizar filtros integrados basados en la tecnología switching [13]. Esta tecnología permite sintetizar filtros de octavo orden utilizando un solo circuito integrado con algunos componentes externos. La curva de transferencia del filtro, no depende de los componentes externos, por lo tanto es similar a la descrita por el fabricante en la hoja de datos. Esto asegura que en caso de tener que cambiar el integrado por uno nuevo, se seguirá trabajando de la misma manera.

Para la implementación del filtro, se eligió el integrado MAX7404 de Maxim Inc. [14]. Este es un filtro pasa bajo elíptico de octavo orden al cual se le puede ajustar su frecuencia de corte entre 1kHz y 10kHz. También, presenta una atenuación de al menos 82 dB a partir de su frecuencia de rechazo (F_s), la cual se encuentra ubicada un 20% por encima de la frecuencia de corte.

La frecuencia de corte del filtro puede ajustarse de dos formas:

- Mediante un oscilador externo: la frecuencia de corte del sistema se define como 100 veces menos que la frecuencia del oscilador.
- Mediante un oscilador interno: se basa en un capacitor externo que define la frecuencia de oscilación de un oscilador interno, que a su vez define la frecuencia de corte de acuerdo a $F_c \text{ (kHz)} = 34,103 \cdot 100 \cdot \text{Cap}$, siendo Cap el valor del capacitor externo, definido en picofaradios.

Se optó por la segunda opción ya que la frecuencia de corte no debería ser ajustada a lo largo del tiempo. Por lo tanto se fijó una frecuencia de corte de 3200Hz. En la siguiente figura se presenta el circuito del filtro pasabajos implementado.



Capítulo 3, Figura 5 - Filtro anti-aliasing

3.2 Reguladores de tensión

Como se explicó anteriormente en el capítulo 2, utilizamos la fuente de tensión original del equipo. Esta es una fuente switching de 12Volt 10Amper. El inconveniente es que nuestro DsPIC se alimenta y trabaja con 3,3 Volt. También esos 3,3 Volt son necesarios en la polarización del micrófono y en el filtro anti-aliasing. Además de esos 3,3V necesitamos +- 5 Volt para alimentar el integrado TL074N (amplificador).

Por lo tanto, para conseguir esos valores de tensión deseador, utilizamos reguladores de tensión lineales. Estos permiten controlar la tensión de salida ajustando continuamente la caída de tensión en un transistor de potencia conectado en serie entre la entrada y la salida. Es decir que operan con corriente continua, donde el nivel de tensión a la entrada debe ser siempre superior al de salida. A continuación se presentan sus ventajas y desventajas.

Ventajas:

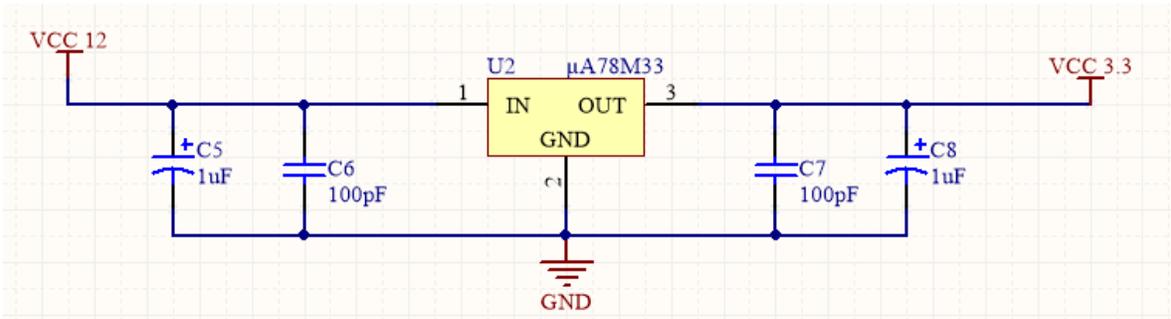
- Simplicidad de diseño, debido al poco uso de componentes.
- Para potencias menores de 10 Watts, el costo de los componentes es relativamente bajo.

Desventajas:

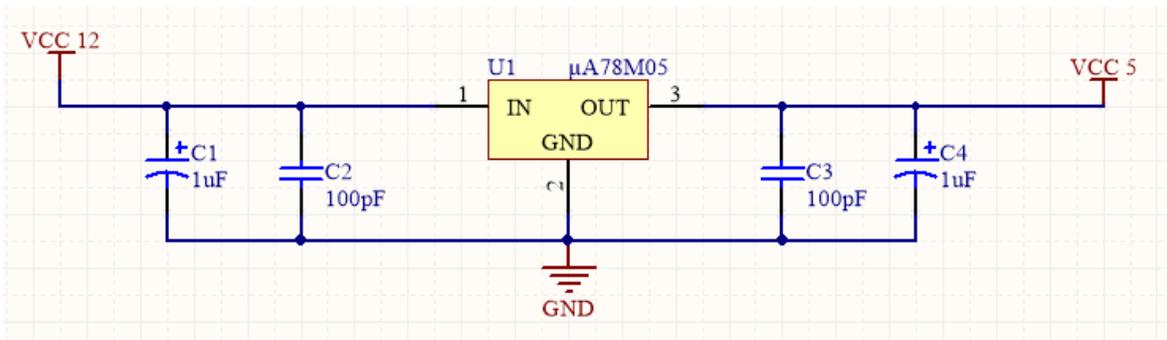
- Baja eficiencia, entre el 30 y 60 %.
- Alta disipación de temperatura.

Trabajo Final – Estroboscopio Laríngeo Automático

Para conseguir los valores de 3.3V y 5V, se utilizaron los reguladores $\mu A78M33$ [23] y $\mu A78M05$ [24] respectivamente. A continuación se muestra la circuitería necesaria de los mismos.



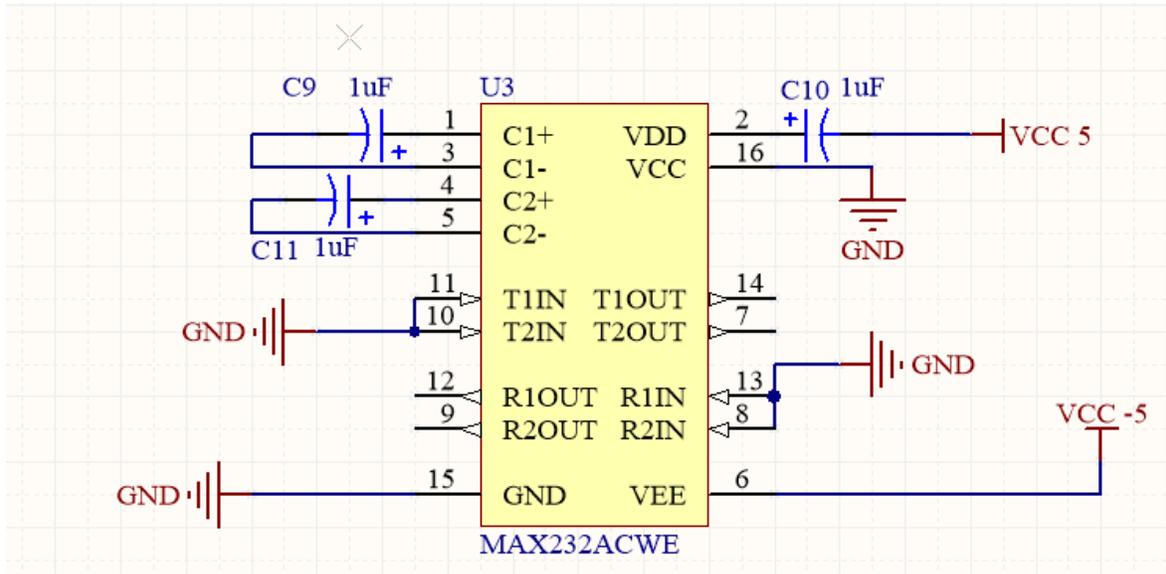
Capítulo 3, Figura 6 - Regulador de 3.3 Volt



Capítulo 3, Figura 7 - Regulador de 5 Volt

Trabajo Final – Estroboscopio Laríngeo Automático

De manera distinta se trabajó para conseguir los -5 Volt necesarios para la alimentación del amplificador. En este caso, se utilizó la ayuda de un integrado llamado MAX232 [17]. Este es un circuito integrado de Maxim que convierte las señales de un puerto serie RS-232 a señales compatibles con los niveles TTL de circuitos lógicos.



Capítulo 3, Figura 8 - MAX232

El MAX232 (Maxim) es un circuito integrado utilizado para adaptar los niveles requeridos en una conexión donde interviene un dispositivo que maneja niveles de tensión TTL (un microcontrolador, por ejemplo) y otro capaz de trabajar bajo los parámetros de la norma EIA/TIA-232E y las V.28/V.24. Expresado en lenguaje de tensiones, los niveles TTL operan entre los 0 y 5 Volts y la otra norma, conocida en el mundo técnico como RS-232 (Recommended Standard-232), utiliza tensiones que van desde los -12Volts a los +12Volts. Este circuito integrado está especialmente diseñado para trabajar en equipos que utilicen bajos niveles de tensión (5 Volts) y requiere de muy pocos componentes externos para lograr un funcionamiento óptimo. Requiere de 5 condensadores externos de 1 uF. Cuenta con cuatro adaptadores-inversores de tensión: dos son utilizados para la conversión TTL – RS-232 y los otros dos para la operación inversa.

En nuestro caso, no utilizamos el integrado para realizar esta conversión. Conociendo el consumo de corriente del amplificador TL074, y sabiendo que requiere de una tensión de +5 y -5 Volt, se pensó en utilizar el pin número 6 del MAX232, para obtener la tensión negativa requerida, sin la necesidad de utilizar un convertor DC/DC.

3.3 Microcontrolador DsPIC33FJ128GP802

Se podría nombrar a este micro como la unidad central de procesamiento del estroboscopio. Es el encargado de: realizar la adquisición de la señal de entrada; procesar

de los datos; encontrar la frecuencia fundamental de fonación y controlar de la etapa de potencia.

En el capítulo cuatro, donde se desarrollará la implementación del software, se explicará porque la necesidad de utilizar un DsPIC y no un simple PIC. Por el momento, mencionaremos sus características principales y explicaremos como realizar su mapeado para su funcionamiento. También explicaremos las entradas y salidas que maneja.

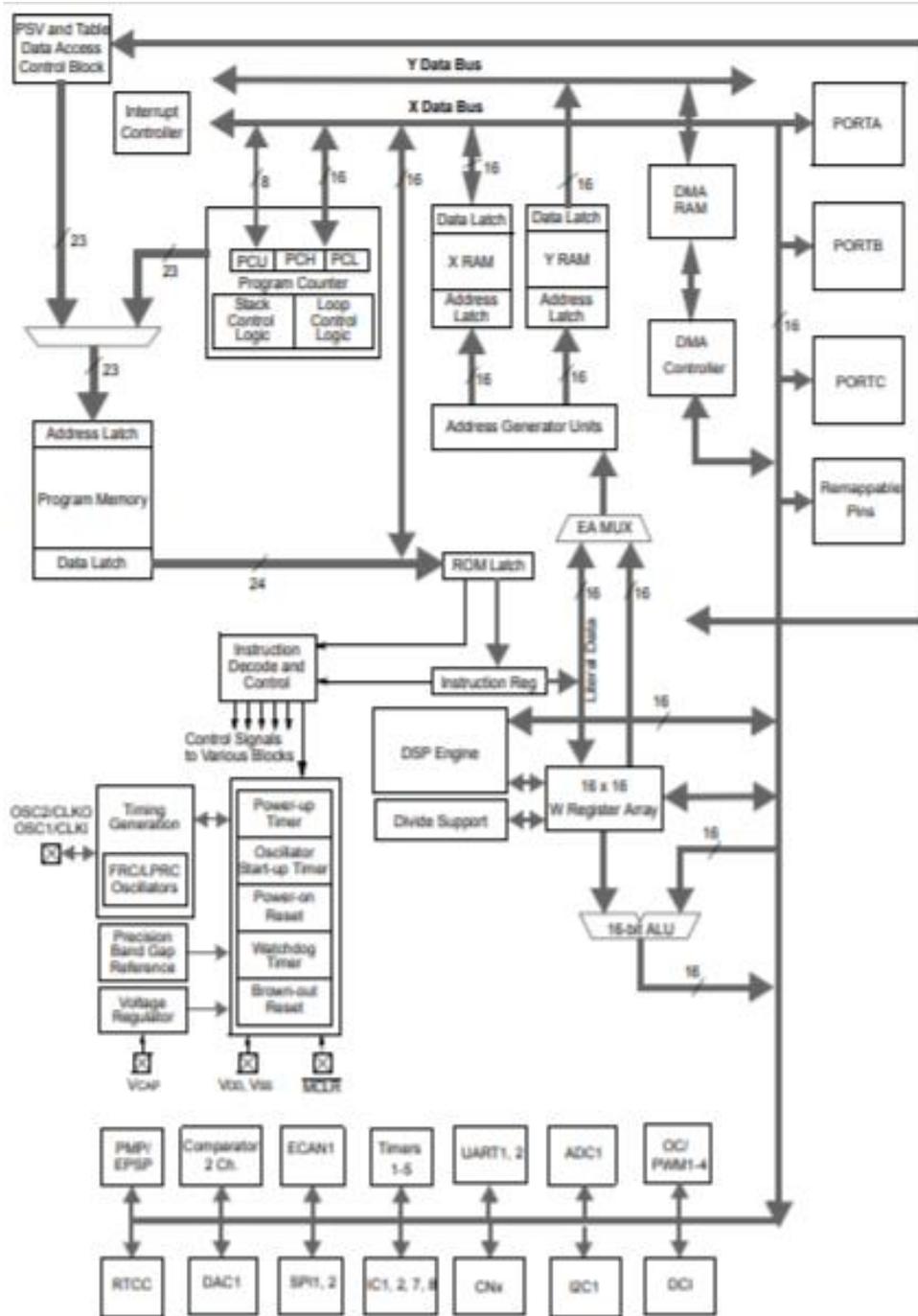
3.3.1 Características del DSPIC33FJ128GP802

Las siglas dsPIC corresponden al nombre genérico utilizado por el fabricante para referirse a los Controladores Digitales de Señales (DSC). Estos combinan la arquitectura y programación de los microcontroladores PIC de 16 bits con los recursos de hardware y software necesarios para soportar las prestaciones fundamentales de los DSP.

Algunas de sus características principales son [7]:

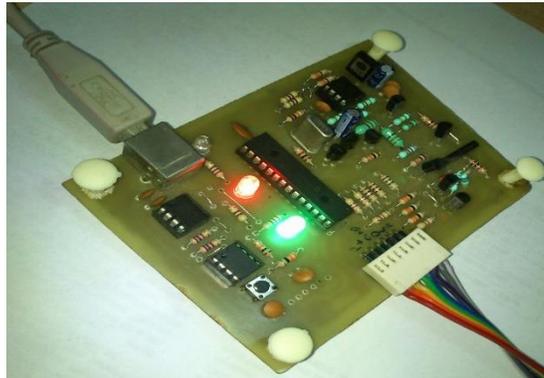
- 128 kB de memoria de programa. Esto, junto al uso de compiladores cruzados optimizados para la arquitectura, permite un desarrollo más fácil y eficiente.
- 16 kB de RAM.
- Funcionamiento a 40 MIPS.
- Multiplicaciones, sumas y desplazamientos lógicos, se realizan en un solo ciclo de reloj.
- ALU de 40 bits, multiplicador de 17x17 bits, dos acumuladores de 40 bits y registro de desplazamiento bidireccional de 40 bits.
- Conversor Analógico/Digital (ADC) de 12 bits@500ksps integrado.
- Conversor Digital/Analógico (DAC) de 16 bits@100ksps integrado.
- DMA de 8 canales con memoria RAM de doble puerto. Permite trabajar con los periféricos y el programa principal en forma independiente y simultánea.
- Módulos de comunicación: I2C, SPI, CAN, UART, DCI, entre otros.
- Herramientas para la gestión del sistema: watchdog, monitor de falla del reloj y oscilador, temporizadores para la estabilización de la alimentación y la frecuencia, etc.
- Control de consumo de energía: diferentes modos de bajo consumo, DOZE, Idle y Sleep, detección de voltaje bajo, etc.
- Bajo costo. Tiene un precio de 5 dólares estadounidenses.

Trabajo Final – Estroboscopio Laríngeo Automático



Capítulo 3, Figura 9 - Diagrama en bloques dsPIC

recreado por el Laboratorio de Comunicaciones. En el anexo se explicará cómo funciona este dispositivo.



Capítulo 3, Figura 11 - Programador dsPIC

3.3.2.4 Auxiliares 2

Como es una placa de desarrollo, se deja preparado la conexión de ciertos pines en caso de una nueva necesidad. Esta misma puede surgir ya sea por una mejora futura del programa o una corrección de algún error en el presente.

3.3.2.5 U7 Optoacoplador

Un optoacoplador, también llamado optoaislador o aislador acoplado ópticamente, es un dispositivo de emisión y recepción que funciona como un interruptor activado mediante la luz emitida por un diodo LED que satura un componente optoelectrónico, normalmente en forma de fototransistor o fototriac.

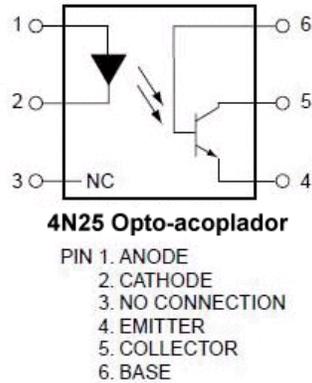
Es utilizado para aislar eléctricamente la etapa de potencia y la salida del dsPIC. Ya que el ingreso de una corriente parásita de la etapa de potencia a la salida del dsPIC, podría concluir en la quemadura de la misma.

Suelen ser elementos que sustituyen a los relés tradicionales y se utilizan para aislar dos circuitos, uno que trabaja con baja tensión y otro a una tensión diferente (generalmente mucho mayor). De esta manera se elimina el ruido realizado por los relés, se mejora la velocidad de conmutación y casi no hay necesidad de mantenimiento.

Es importante resaltar que tanto el LED como el detector deben llevar siempre una resistencia en serie con ellos para protegerlos y limitar la corriente que le llega al LED. La corriente de salida IC del optoacoplador (corriente de colector del fototransistor) es proporcional a la corriente de entrada IF (corriente en el diodo LED). La relación entre estas dos corrientes se llama razón de transferencia de corriente (CTR) y depende de la temperatura ambiente. A mayor temperatura ambiente, la corriente de colector en el fototransistor es mayor para la misma corriente IF (la corriente por el diodo LED). La entrada

(circuito del diodo) y la salida (circuito del fototransistor) están 100% aislados y la impedancia de entrada es muy grande (10^{13} Ohm típico).

Se utilizó en optoacoplador 4N25 de Motorola [19]. En la siguiente imagen se puede observar la configuración de pines:



Capítulo 3, Figura 12 - Optoacoplador 4N25

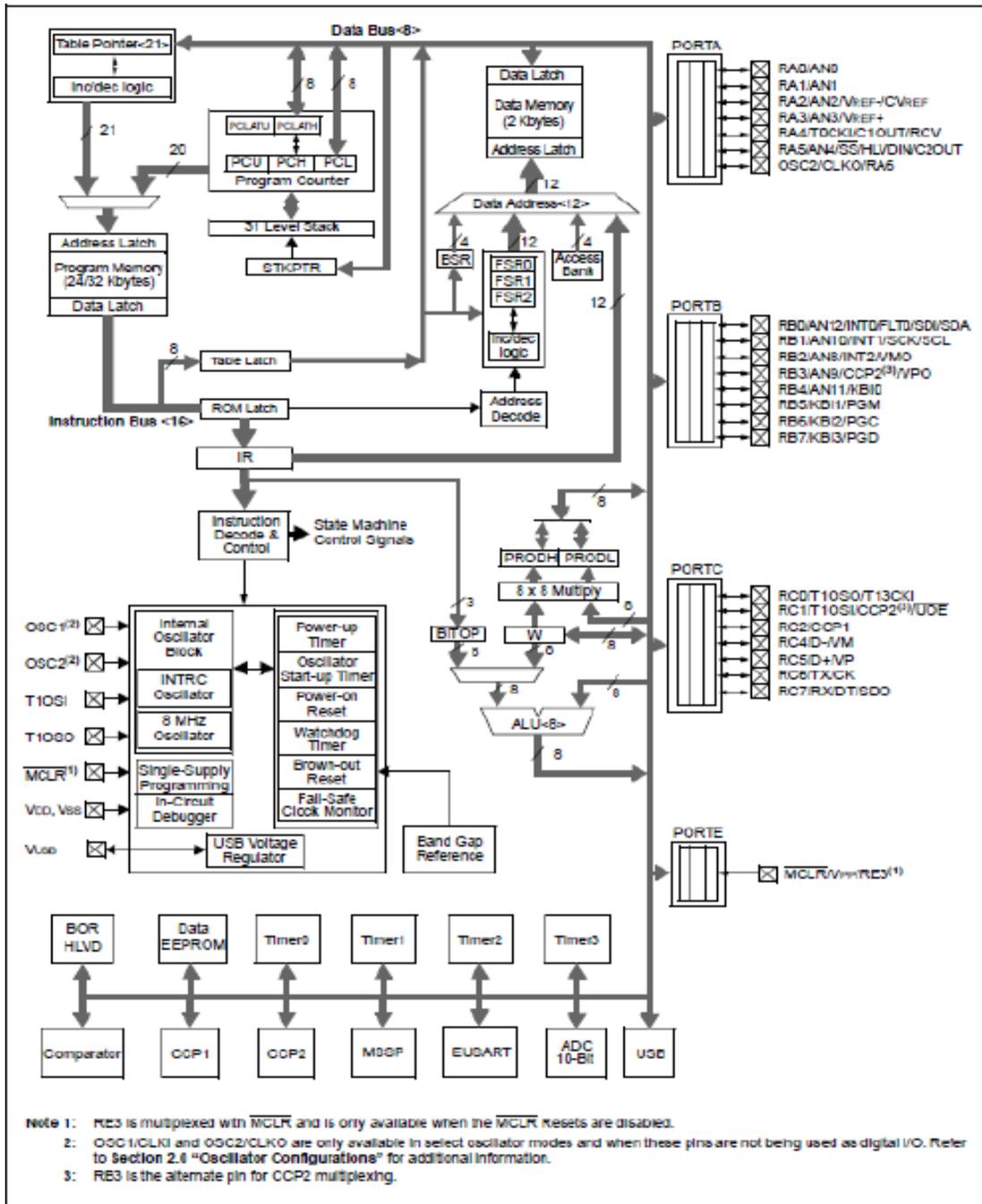
3.4 Microcontrolador Pic18f2550

Como se mencionó en el capítulo anterior, este Pic de 8 bits es utilizado para interfaz con el usuario. En este capítulo expandiremos la información sobre este microcontrolador tan utilizado. A continuación mostraremos las características principales:

3.4.1 Características Pic18f2550

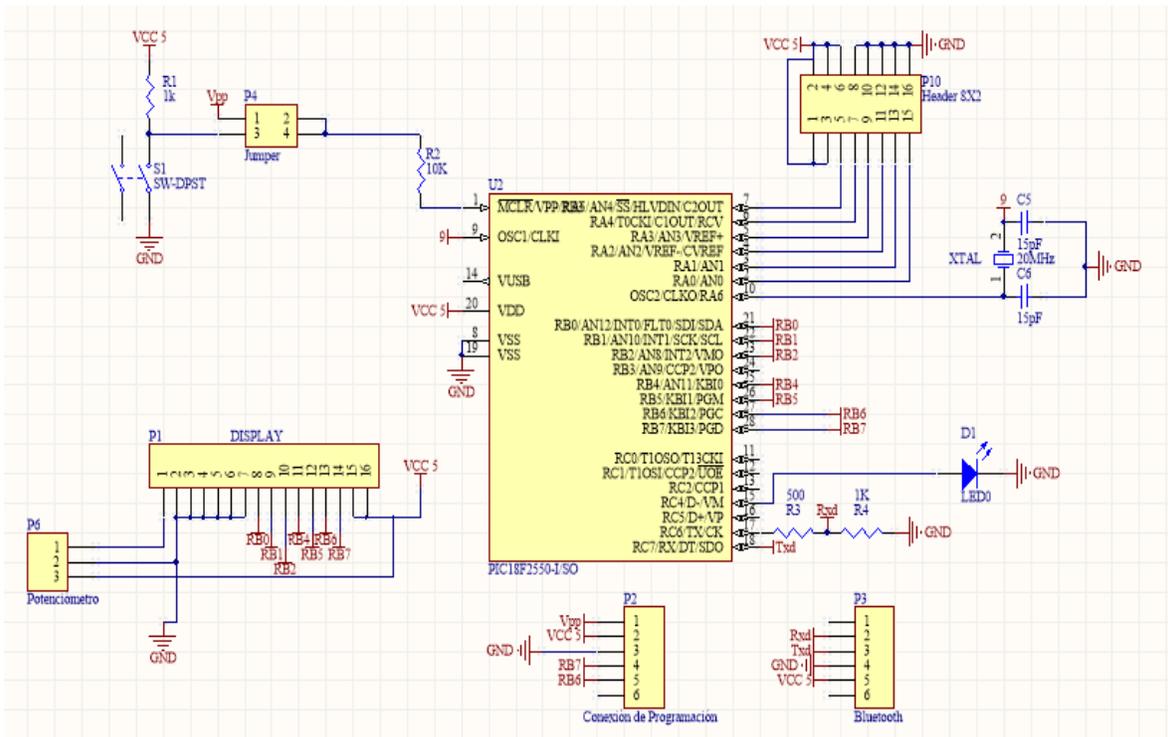
- Voltaje de alimentación: 4,2-5V.
- Pines: 28.
- Memoria tipo FLASH.
- Memoria de programa: 32Kbytes.
- 256 Bytes de memoria EEPROM.
- Interfaz USB 2.0 de alta velocidad 12Mbit/s.
- Velocidad CPU de hasta 12 MIPS (con cristal de 4MHz).
- Oscilador interno variables de 32KHz a 8MHz.
- Puertos de comunicación UART/USART, SPI, I2C.
- Periféricos de captura/comparación/PWM.
- Temporizadores: 3 de 16 bit y 1 de 8 bit.
- 10 canales ADC de 10 bit.
- 2 comparadores.

Trabajo Final – Estroboscopio Laríngeo Automático



Capítulo 3, Figura 13 - Arquitectura interna Pic18f2550

3.4.2 Mapeado del Pic



Capítulo 3, Figura 14 - Mapeado del Pic

A continuación se explicará cada una de las partes.

3.4.2.1 Jumper

Este jumper es utilizado para la programación del microcontrolador. Normalmente se encuentra en la posición 3-4 que es la posición de trabajo. Pero a la hora de programarlo se mueve el jumper a la posición 1-2 en donde en el pin1 del micro, se conecta a Vpp. Se puede observar también que hay un switch en la posición 3-4 que al ser pulsado reinicia el micro.

3.4.2.2 Conexión Bluetooth

Como se explicó anteriormente, el Pic se comunica por Bluetooth con el dsPIC encargado de controlar la fuente de corriente que alimenta al LED de potencia. Como se puede ver, solo se necesitan 4 pines para establecer la comunicación, los otros dos pines son utilizados para la configuración del módulo. La comunicación entre el Pic y el módulo Bluetooth es serie utilizando el estándar RS-232 [15].

3.4.2.3 Conexión de programación

Al igual que en el dsPIC, esta conexión es utilizada para conectar el dispositivo programador del microcontrolador. En nuestro caso, utilizamos el PICKIT 2. No el original del fabricante, sino un dispositivo recreado por el Laboratorio de Comunicaciones. En el anexo se explicará

cómo funciona este dispositivo. La programación la realizamos con el programa “CCS C Compiler”

3.4.2.4 Header 8x2

Como puede verse, son 16 pines en los cuales se utilizan 6 para conectar desde A0 a A5. Hay 5 a Vcc y 5 a GND. El puerto A del Pic, tiene la capacidad de que sus entradas sean tanto digitales como analógicas.

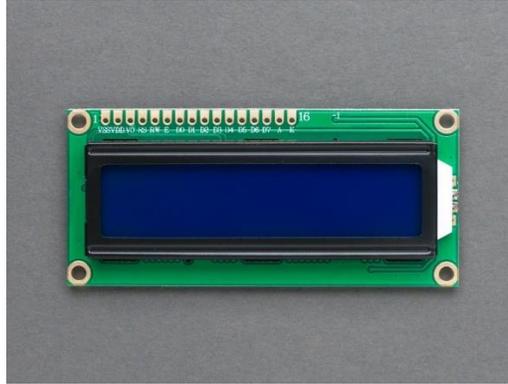
Utilizamos estos pines para conectar el panel frontal del equipo, utilizando A0 y A1 como entradas analógicas conectadas a los potenciómetros y de A2 a A4 conectadas a las llaves de interrupción que indicarán que programa utilizar.



Capítulo 3, Figura 15 - Llave inversora conectadas en A2, A3 y A4

3.4.2.5 Conexión del display

Este Pic presenta una interfaz visual con el usuario, donde se muestra el programa elegido y la frecuencia de disparo del LED. El conexionado es muy simple, se puede observar en la hoja de datos del display. Se necesitan 7 salidas para manejarlo con la configuración puerto paralelo del LCD. La información se comunica por los puertos RB4, RB5, RB6 y RB7 [21].



Capítulo 3, Figura 16 - Display LCD 16x2

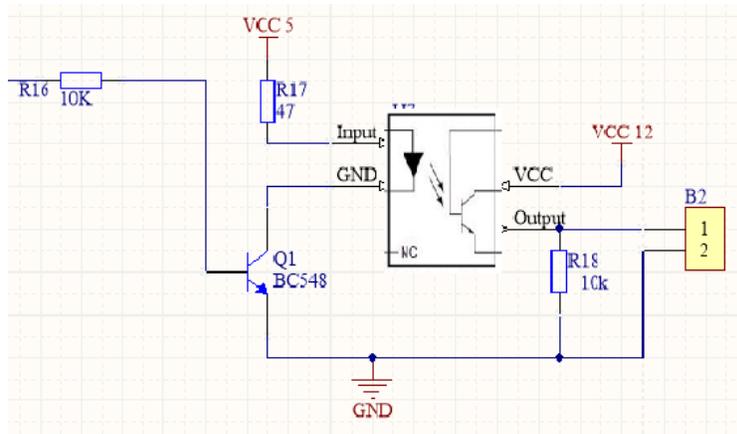
3.5 Etapa de potencia

En esta sección desarrollaremos todo lo relacionado a la etapa de salida, incluiremos también a la fuente de corriente y al optoacoplador, ya que juegan un papel más que importante.

3.5.1 Optoacoplador

Este dispositivo es utilizado para aislar etapas de alta potencia y etapas de control donde se maneja baja corriente, y ante cualquier corriente parásita mayor a la que pueden controlar, se quemaría la salida del dispositivo que emite la señal de control.

Las características de este dispositivo ya fueron explicadas en la sección 3.3.2.5, acá explicaremos el circuito utilizado para polarizar el transistor de salida y lograr obtener la señal de entrada en la salida.



Capítulo 3, Figura 17 - Conexión optoacoplador

Como puede verse en la figura 35 (Conexión optoacoplador) a la salida del dsPIC se conecta una resistencia en serie y luego a la base de un transistor BC548 [22]. El colector de del transistor está conectado a 5 Volt, pasa por una resistencia de 47 ohm y luego pasa por el LED. Esta conexión se realizó de esta manera, porque con la corriente que maneja la salida

del dsPIC no alcanzaba a encender el LED del optoacoplador a su potencia nominal y de esta manera no se lograba la saturación del fototransistor de la salida. Lo que generaba que no trabajara como un seguidor de la entrada.

El colector del fototransistor se conecta a 12Volt porque es la tensión necesaria para poder saturar el MOSFET de la siguiente etapa (estos dispositivos saturan por tensión en la base y no por corriente). De esta manera se consigue obtener a la salida del optoacoplador la señal de control.

3.5.2 MOSFET IRFZ44N

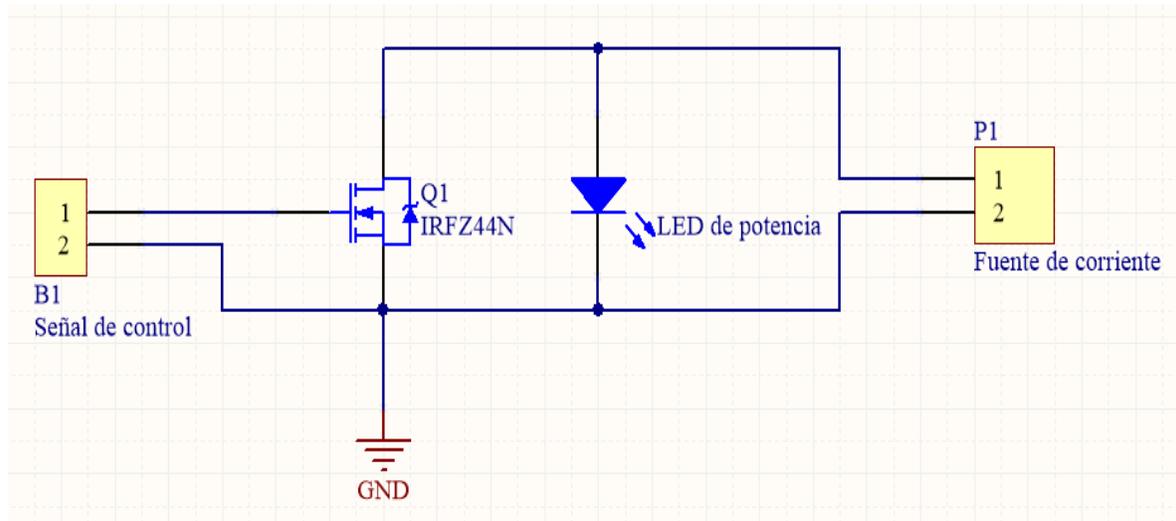
Este MOSFET IRF44N [21] es el encargado de apagar y prender el LED. Se eligió este modelo, ya que cumple con las requisitos para ser utilizado en circuitos de alta potencia (necesitamos manejar 80 Watt). Las características útiles que posee son:

- V_{ds} (Voltaje drain-source) = 55 Volt.
- I_d (Corriente de drain) máxima = 49 Amper.
- P_{tot} (Potencia total soportada) = 110Watt.
- I_{dm} (Drain current (pulse peak value)) = 160 Amper.
- En el peor caso, Turn-on rise time = 75ns.

Al observar estas características nos indica que podemos contralar la potencia deseada sin ningún problema y la velocidad de conmutación es mucho menor a la utilizada en el equipo que es de 2,5 ms.

3.5.2.1 Conexión del MOSFET

La conexión es la siguiente y la podemos observar en la figura 36 (conexión del MOSFET).



Capítulo 3, Figura 18 - Circuito de potencia

Como puede notarse, la salida de la fuente de corriente se conecta en paralelo con el LED y con el drain del MOSFET, source se conecta a GND.

El MOSFET trabaja en corte y saturación. Cuando le llega un pulso activo en el gate, comienza a conducir y se genera un corto entre Drain y Source, de lo contrario se mantiene abierto. De esta manera se logra que cuando el MOSFET conduce, la fuente de corriente vea un cortocircuito a su salida y toda la corriente se drene por el MOSFET a masa y no vaya al LED de potencia, provocando que este se apague. De manera contraria, cuando el MOSFET está abierto, toda la corriente va hacia el LED de potencia encendiéndolo. Esto funciona al revés de una fuente de tensión.

3.5.2.2 Elección del disipador

A la hora de utilizar un MOSFET de alta potencia es importante tener en cuenta la disipación de temperatura del mismo, ya que sino el dispositivo puede quemarse o comenzar a trabajar incorrectamente.

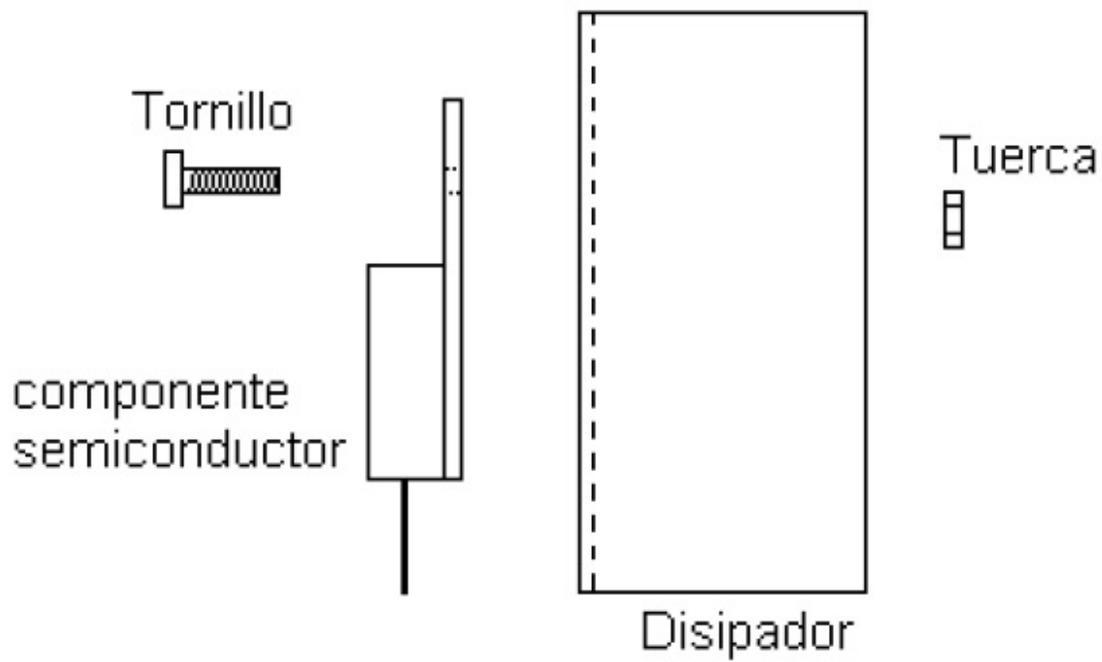
Los disipadores de calor son elementos complementarios que se usan para aumentar la evacuación de calor del componente al que se le coloque hacia el aire que lo rodea. Esto trae como consecuencia que se reduce la temperatura de trabajo del componente ya que la cantidad de calor que se acumula en él es menor que sin disipador. Un cálculo estricto de los disipadores puede ser complejo. En este proyecto realizamos un sistema de cálculo aproximado, que sin embargo proporciona buenos resultados y está muy difundido. Este sistema se basa en una analogía entre circuitos de flujo de calor y circuitos eléctricos resistivos.

De esta manera podemos formular la Ley de Ohm térmica:

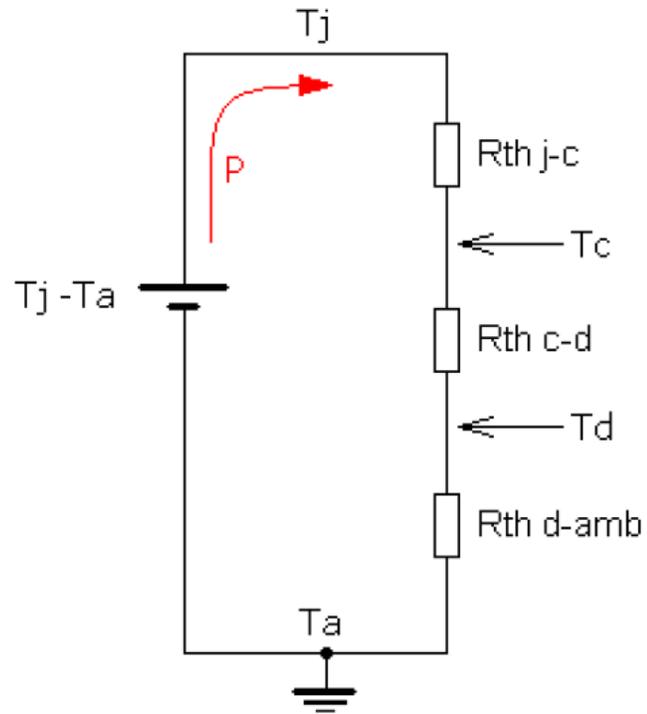
$$T_j - T_a = P R_{th-t}$$

- T_j es la temperatura máxima de la unión del elemento semiconductor.
- T_a es la temperatura ambiente.
- P : potencia consumida por el componente.
- R_{th-t} resistencia térmica total entre la unión y el aire ambiente.

En las siguientes imágenes se puede observar como es el montaje del disipador y el circuito térmico asociado que genera:



Capítulo 3, Figura 19 - Montaje disipador



Capítulo 3, Figura 20 - Circuito térmico asociado

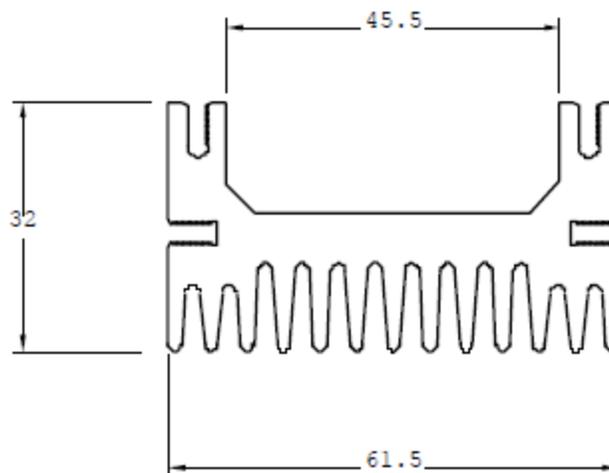
- T_j : temperatura de la unión semiconductor.
- T_a : temperatura del aire circundante.
- T_c : temperatura de la cápsula del transistor.
- T_d : temperatura del disipador.
- $R_{th\ j-c}$: resistencia térmica entre la unión y la cápsula.
- $R_{th\ c-d}$: resistencia térmica entre la cápsula y el disipador.
- $R_{th\ d-amb}$: resistencia térmica entre el disipador y el aire.
- P : potencia disipada en forma de calor por el MOSFET.

Lo que nos interesa encontrar en $R_{th\ d-amb}$, para poder calcular el tamaño y forma del disipador. Por lo tanto nos queda la siguiente ecuación:

- $R_{th\ d-amb} = ((T_j - T_a)/P) - (R_{th\ j-c} + R_{th\ c-d})$

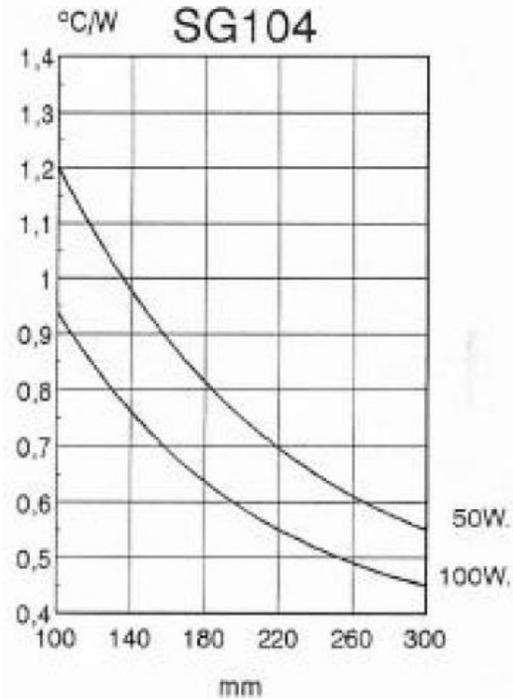
Conociendo todos los demás parámetros que los obtenemos de la hoja de datos del IRF44N podemos encontrar el valor requerido ($R_{th\ c-d}$ normalmente se toma entre en 0,5 y 1 °C/W). Realizando los cálculos, obtenemos que $R_{th\ c-d} = 1,35^\circ\text{C/W}$, por lo tanto el disipador que se necesita deberá tener una resistencia térmica como mucho de $1,35^\circ\text{C/W}$.

Para elegir el disipador, buscamos en el catálogo de Semikron, ya que es muy útil porque viene con curvas que relacionan el tamaño y la resistencia térmica. Al ya tener definido la capacidad donde se ubicará el disipador, dentro de las posibles opciones buscamos el de menor tamaño. El elegido fue:



104

Capítulo 3, Figura 21 - Disipador



Capítulo 3, Figura 22 - Curva disipador

3.5.3 Fuente de corriente

Como su nombre lo dice, es una fuente que varía el voltaje para lograr mantener constante la corriente. Estas son utilizadas para algunas aplicaciones en particular donde es necesario mantener constante la corriente sin importar las variaciones de la carga o problemas en la red de alimentación. En nuestro caso es ideal para la utilización con LED.

El driver también se ajusta a las continuas fluctuaciones de voltaje de la red eléctrica y evita que los LED se vean perjudicados por un exceso de tensión. Sin un driver adecuado el LED se puede sobrecalentar o descontrolar provocando una pérdida de rendimiento o fallo irreparable.

En nuestro caso, se utilizó el driver que venía incorporado en la fuente de luz. El núcleo de este driver es el integrado LM3434 de Texas Instruments. Nuestro driver se alimenta de 12V otorgados por la fuente de tensión y puede generar una salida de 4 a 20 Amper de continua, con una tensión de salida de 2,76 a 3,8 Vcc.

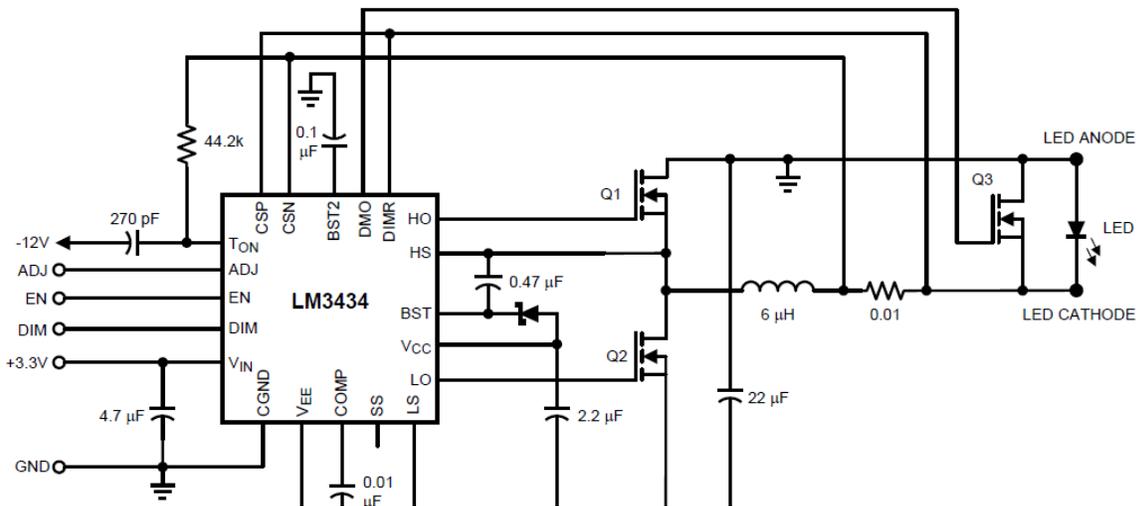


Capítulo 3, Figura 23 - Fuente de corriente

3.5.3.1 LM3434

Este integrado es un convertor de corriente continua de DC/DC tipo buck. El LM3434 [20] proporciona una corriente constante para iluminar al LED de alta potencia. La arquitectura del dispositivo, preparada para trabajar en alta frecuencia, permite el uso de componentes pasivos externos pequeños y evita el uso de condensadores de salida para mantener bajo el rizado de la corriente del LED.

El LM3434 puede controlar la potencia del LED de dos maneras, y posee dos entradas para tal fin. Una, es una entrada de corriente analógica que se pueda ajustar para compensar las variaciones de fabricación del LED y / o la corrección de la temperatura del color. La otra entrada lógica y controla el ciclo de trabajo de una señal PWM que controla la corriente del LED.



Capítulo 3, Figura 24 - LM3434 Circuito de aplicación típico

Como puede observarse en la figura 24, el integrado tiene un pin llamado enable. En un principio se creyó posible switchear la fuente de luz controlando este pin, pero leyendo la hoja de datos del integrado, se descubrió que solo puede prenderse y apagarse a una frecuencia de 70Hz. Por ese motivo se eligió realizar el pulsado de la fuente a la salida utilizado el MOSFET.

De esta forma coexisten en este diseño dos señales de conmutación sobre el LED. La primera es la señal de PWM generada por la propia placa del LM3434 que proporciona control sobre la intensidad del LED de potencia, y la segunda, la señal de sincronía con el pulso glotal que con un ciclo de trabajo del 50% permite generar el efecto estroboscópico prendiendo y apagando el led a una frecuencia mucho menor que la de la señal PWM que controla la intensidad. Desde ya, esta segunda señal, al tener un ciclo de trabajo del 50 % pro boca una disminución de la intensidad de salida del LED del mismo porcentaje.

Se conectó la salida del generador al gate del MOSFET y para probar el efecto estroboscópico se utilizó un cooler (ventilador de una fuente de alimentación) del cual se conocía la frecuencia de giro (475 Hz). Se pudo observar el efecto estroboscópico frenando casi por completo las hélices del ventilador. A medida que disminuíamos el ancho del pulso de trabajo mejor era el efecto, pero menor era la intensidad de luz efectiva.

3.5.4 LED

Los LED presentan muchas ventajas sobre las fuentes de luz incandescente y fluorescente, entre algunas de ellas se encuentran las siguientes:

- Bajo consumo de energía.
- Mayor tiempo de vida.
- Tamaño reducido.
- Resistencia a las vibraciones.
- Reducen la emisión de calor.
- No contienen mercurio.
- Tiempo de encendido muy corto (menor a 1ms).
- Variedad de colores.
- No les afecta el encendido intermitente (es decir, pueden funcionar como luces estroboscópicas).

Para el correcto funcionamiento de un led de alta potencia existen dos aspectos fundamentales que es necesario tener presentes: la corriente que pasa por el LED y la temperatura que disipa. La temperatura reduce la eficiencia del led, lo hace envejecer y un exceso de ella lo puede dañar o reducir su vida útil. Los LED no son eternos, con el tiempo, su eficiencia luminosa disminuye progresivamente y, generalmente, se considera un led al final de su vida útil cuando la luz que emite es del 50% menor respecto a la luz producida

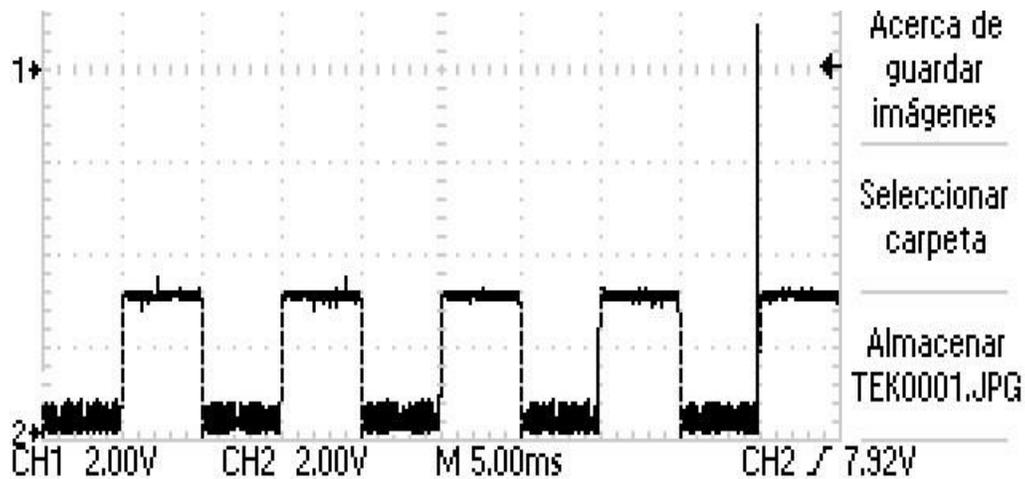
cuando es nuevo. Por suerte esto ocurre después de miles de horas de uso (en algunos casos más de 50.000 horas).

3.5.5 Primeras pruebas

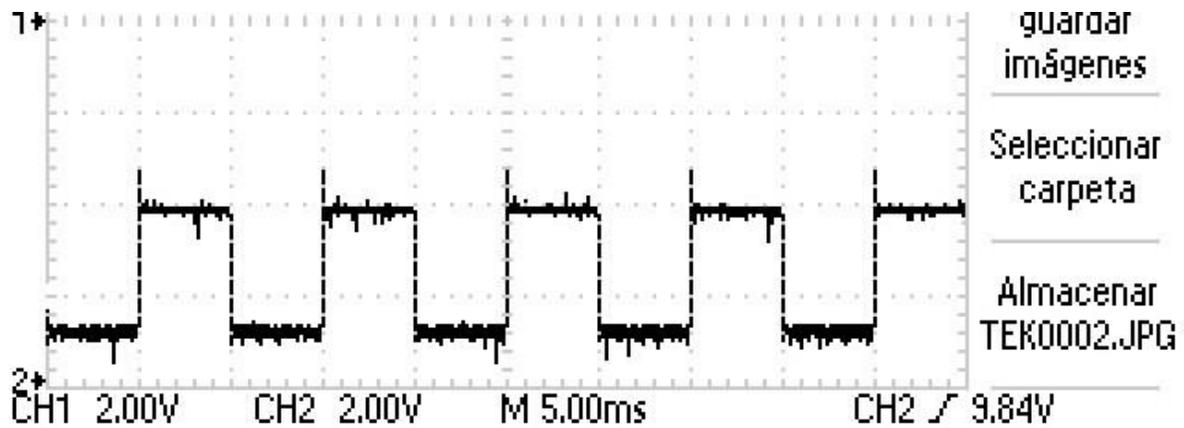
Primeramente se requirió hacer pruebas para verificar que se podía pulsar la fuente de corriente a una frecuencia de 400Hz y que no se quemara el LED ni tuviera malas repercusiones sobre la fuente. Para esto se armó un banco de pruebas con un generador de funciones, que simuló ser el dsPIC que controla la etapa de potencia.

Se conectó la salida del generador al gate del MOSFET y para probar el efecto estroboscópico se utilizó un cooler (ventilador de una fuente de alimentación) del cual se conocía la frecuencia de giro (475 Hz). Se pudo observar el efecto estroboscópico frenando casi por completo las hélices del ventilador. A medida que disminuíamos el ancho del pulso de trabajo mejor era el efecto, pero menor era la intensidad de luz efectiva.

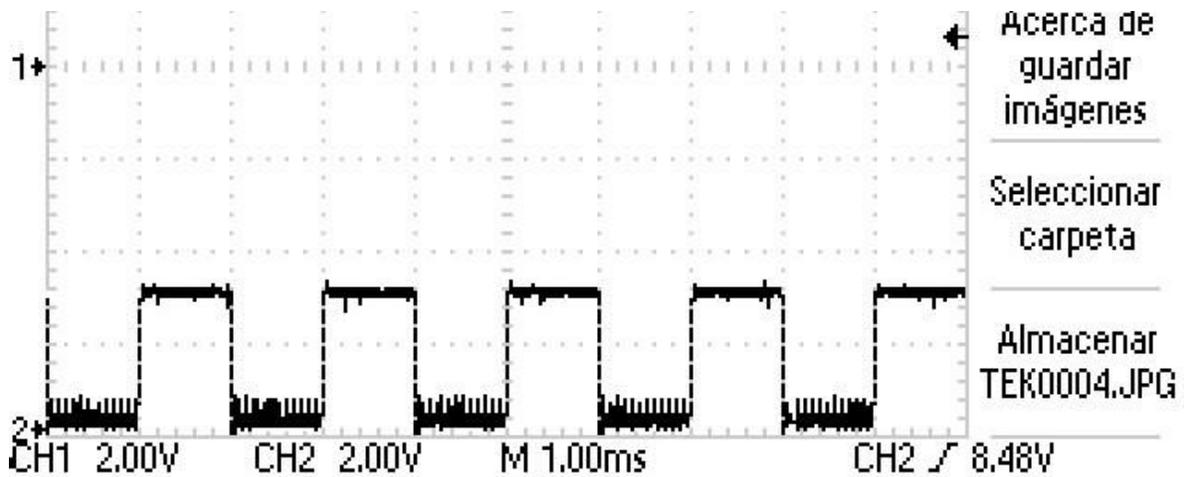
Además se midió la tensión de salida del equipo en 4 momentos distintos, variando la frecuencia de salida y la intensidad de la corriente. Esto lo podemos observar en las siguientes figuras:



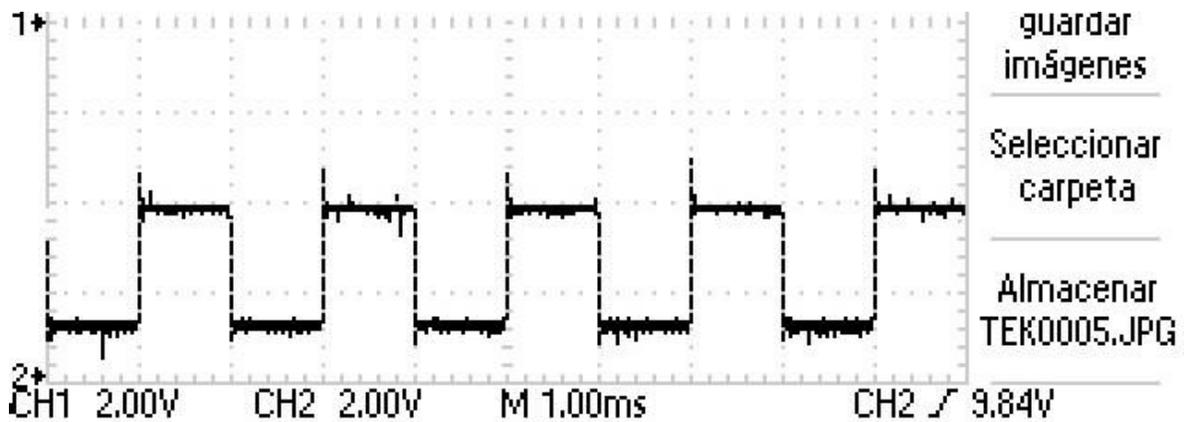
Capítulo 3, Figura 25 - 100Hz, baja intensidad



Capítulo 3, Figura 26 - 100Hz, alta intensidad



Capítulo 3, Figura 27 - 500Hz, baja intensidad



Capítulo 3, Figura 28 - 500Hz, alta intensidad

Trabajo Final – Estroboscopio Laríngeo Automático

Como puede observarse con en las figuras 26, 27 y 28, se produce un sobrepico de tensión cuando la carga es conectada, es decir cuando el MOSFET se abre. Esto se produce ya que la fuente hace un esfuerzo para mantener la corriente constante y pasa de no tener carga, a tener una mínima, que es el LED de potencia. En el peor de los casos el sobrepico es de 8 Volt.

El problema que esto acarrea es que se produce en el lado externo de la bobina de salida de la fuente, por lo tanto del lado interno, este sobre pico se ve unas 4 veces más grande, como máximo, o sea que sería un sobrepico de 32 Volt. Esto podía llegar a afectar a los MOSFET que están antes de la bobina encargados de generar la tensión de salida y la corriente. Pero en la hoja de datos de los transistores dicen que toleran una tensión drain-source de hasta 40 Volt. Por este motivo los sobrepicos no causan ningún problema en el circuito.

Otra observación que se puede hacer es que al usarse con intensidad máxima la salida queda montada sobre un valor de continua de 0,8Volt.

4 - Implementación del firmware

En este capítulo desarrollaremos las pruebas realizadas para la implementación del software en cada microcontrolador y también sobre la comunicación utilizada entre ambos. Como se anticipó en los capítulos anteriores, explicaremos porque el dsPIC es el indicado para realizar el procesamiento de la señal de audio.

4.1 Implementación en el dsPIC 33FJ128GP802

Las siglas dsPIC corresponden al nombre genérico que se utiliza para referirse a los Controladores Digitales de Señales (DSC) del fabricante Microchip, los cuales combinan la arquitectura y la programación de los microcontroladores PIC de 16 bits con los recursos de hardware y software necesarios para soportar las prestaciones fundamentales de los DSP. En este micro se implementa el algoritmo de extracción de la frecuencia fundamental y el de la etapa de control.

4.1.1 Características dedicadas

Las dos características más importantes que posee el dsPIC utilizado son:

- Conversor analógico/digital (ADC) de 12 bits 500 muestras por segundo.
- DMA de 8 canales con memoria RAM de doble puerto. Permite trabajar con los periféricos y el programa principal en forma independiente y simultánea.

4.1.1.1 Conversión analógica/digital (ADC)

Un conversor o convertidor de señal analógica a digital (Analog-to-Digital Converter, ADC) es un dispositivo electrónico capaz de convertir una señal analógica, ya sea de tensión o corriente, en una señal digital mediante un cuantificador y codificándose en muchos casos en un código binario en particular. Donde un código es la representación unívoca de los elementos, en este caso, cada valor numérico binario hace corresponder a un solo valor de tensión o corriente.

El módulo con el que cuenta el dsPIC consiste en un conversor de 12 bits por el método de aproximaciones sucesivas. Su funcionamiento se basa en una búsqueda dicotómica del valor presente en la entrada, con respecto al valor proporcionado por un conversor Digital /Analógico interno. Es el más comúnmente empleado, debido a su bajo costo respecto a las prestaciones que ofrece. Permite trabajar con una resolución mayor, aunque su principal desventaja es el tiempo relativamente elevado de conversión.

En esta aplicación, el módulo, ha sido configurado para funcionar a una frecuencia de muestreo de 16288 Hz. Este tiene la propiedad de permitir establecer en forma individual la duración de los tiempos de muestreo y de conversión, así como también la forma de control de los mismos entre una variedad de opciones.

El tiempo de muestreo es el que define el período durante el cual el condensador de muestreo se encuentra conectado a la señal de entrada. Este debe ser mayor a un valor mínimo establecido por el fabricante para asegurar un correcto funcionamiento, el cual en

este caso es de aproximadamente 117ns. Al mismo tiempo, debe mantenerse lo más pequeño posible de forma tal de minimizar el efecto de apertura producido por el sistema de muestreo y retención.

Luego de terminado el proceso de muestreo, el condensador de muestreo se desconecta de la entrada y se conecta a la entrada del convertidor. Este transforma el nivel de tensión almacenado en el condensador en una palabra digital equivalente. El tiempo para realizar esta tarea es dependiente de la cantidad de bits a convertir y de la frecuencia de operación del ADC (número de bits multiplicado por el período del reloj del ADC).

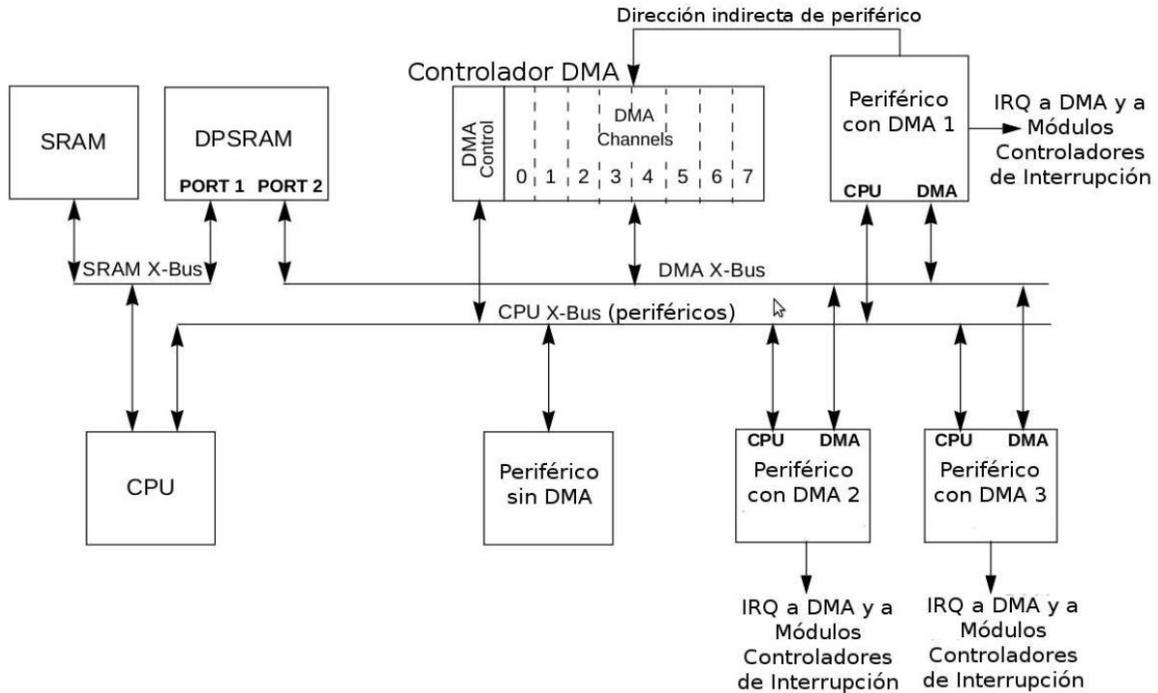
Para conseguir un flujo de datos constante, se emplea una técnica denominada '*Ping Pong Buffering*', la cual consiste en la utilización de un par de buffers en lugar de uno único para el volcado de los datos entregados por el ADC. Estos buffers se encuentran en una zona de memoria especial de doble puerto (DPSRAM), la cual tiene la propiedad de poder ser accedida simultáneamente por el CPU y el DMA, evitando así ocupar ciclos de reloj de ejecución al programa principal. Esto permite que el periférico funcione en forma ininterrumpida, escribiendo en forma alternada en los dos buffers. De esta manera, cuando se están leyendo los valores almacenados en uno de los buffers, el periférico sigue adquiriendo nueva información que el DMA va almacenando en el otro.

4.1.1.2 Controlador DMA

El controlador DMA transfiere datos entre los registros de datos de los periféricos y la memoria RAM. El subsistema de DMA del dsPIC utiliza memoria RAM de doble puerto (DPSRAM) y estructuras de registros que permiten que el DMA opere en sus propios e independientes buses de datos y de direcciones sin producir ningún impacto en la operación del CPU.

Esta arquitectura elimina la necesidad de ocupar ciclos de instrucción, lo cual sucede en los sistemas convencionales cuando se requiere una transferencia por DMA de alta prioridad. Tanto la CPU como el controlador de DMA pueden escribir y leer desde/hacia las direcciones que pertenecen a la memoria DPSRAM sin producirse interferencias entre sí, lo cual maximiza el rendimiento de aplicaciones en tiempo real. En forma recíproca, las operaciones del DMA y sus transferencias de datos desde/hacia la memoria y los periféricos no reciben impacto por el procesamiento llevado a cabo por la CPU.

Un diagrama en bloques de la estructura del controlador DMA y su relación con los módulos asociados puede ser apreciado en la siguiente imagen:



Capítulo 4, Figura 1 - Diagrama en bloques de la integración del DMA en el sistema

4.1.2 Algoritmo de extracción de la frecuencia fundamental F_0

Como se mencionó anteriormente, el algoritmo fue implementado en un dsPIC por medio del compilador MPLAB C30 de Microchip. MPLAB C30 [10] [11] es un compilador cruzado basado en lenguaje C que traduce programas escritos en código fuente para la familia de Controladores Digitales de Señales de Microchip (dsPIC DSC).

Uno de los tantos parámetros para definir a un locutor, es la variación de la frecuencia fundamental con el tiempo, además de la variación de la energía en la señal. Estos fueron los dos parámetros que se utilizaron para llevar a cabo el estroboscopio laríngeo. Por un lado discriminar entre silencio o voz, por medio de su energía y por el otro su frecuencia fundamental si correspondiera a esta última opción. Para esto se llevó a cabo una modificación de un algoritmo previamente utilizado para la verificación de un locutor [9], optimizando la extracción de estos dos parámetros en el menor tiempo posible.

4.1.2.1 Discriminación entre voz y silencio

Existe un paso previo al cálculo de la frecuencia fundamental, este es la discriminación entre voz y silencio. Este aspecto es importante puesto que la efectividad de dicha discriminación incidirá directamente en el rendimiento del sistema de reconocimiento y en el costo computacional al momento de digitalizar la señal de voz. Teniendo en cuenta lo dicho previamente, a menudo son utilizados algoritmos que hacen posible distinguir entre señal útil y ruido. El principio de funcionamiento de los mismos se basa en calcular la energía espectral de cada segmento o frame de la señal de voz y compararlas con un umbral

adecuado, para luego considerar como silencio aquellos segmentos que estén por debajo de dicho umbral.

4.1.2.2 Obtención de la frecuencia fundamental

Se obtiene a partir del espectro de la señal de voz. En primer lugar, se convierte la señal de voz en una señal eléctrica mediante un micrófono. Esta señal se muestrea y se cuantifica para obtener una señal digital. Luego, se divide la señal en segmentos temporales (frames) y sobre cada uno de ellos se aplica una ventana (del tipo Hamming), con el objetivo de reducir los efectos de las discontinuidades surgidas luego de la segmentación.

Por último, se realiza una estimación espectral sobre cada uno de los segmentos y, realizando una comparación entre los máximos locales detectados, se extrae finalmente la frecuencia fundamental.

4.1.3 Configuración del Timer1

Además de realizar los cálculos mencionados anteriormente, este también realiza la etapa de control. Para esto es necesario utilizar la interrupción del Timer1 que es la encargada de switchear la salida del micro.

El módulo Timer1 es un temporizador de 16 bits, que puede servir para operar como un reloj de tiempo real o para trabajar como contador en intervalos de tiempo. Puede operar de 4 maneras:

- Timer mode (utilizado)
- Gated mode
- Synchronous Counter mode
- Asynchronous Counter mode

Dependiendo la configuración elegida para controlar el reloj del CPU, el momento de interrupción puede configurarse de distintas maneras como puede observarse en la Figura 2 (Diagrama en bloques del módulo Timer1). En nuestro caso, al utilizar el oscilador interno como referencia con un valor de 79227500Hz, la frecuencia $F_y = 39613750\text{Hz}$.

Utilizaremos el prescaler = 8. Lo que nos da un valor de $8T_y = 0,2\mu\text{seg}$, que teniendo en cuenta que el contador es de 16bits llega hasta 65536, por lo tanto podemos alcanzar un valor de 13,1 ms como máximo de interrupción.

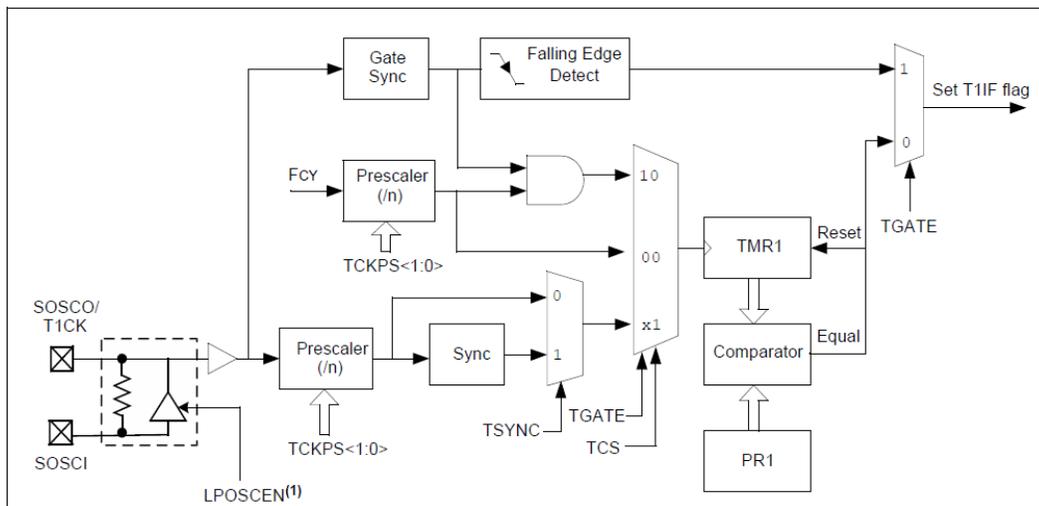
Este valor es utilizado para pulsar la salida, por lo tanto la el máximo período de la señal de salida es de 26,2 ms que es igual a 38,16 Hz. Una frecuencia que está por debajo de lo requerido, por lo tanto cumple con lo requerido. Si hubiéramos dejado el prescaler en 1 la mínima frecuencia que hubiéramos alcanzado sería 604Hz.

Ya se demostró porque no utilizamos el prescaler en 1, pero también podríamos haber utilizado el prescaler en 64 y en 256. Con esos valores cubrimos los rangos deseados e incluso interrumpimos menos el programa principal. Pero como el programa al utilizar el

prescaler en 8, no presenta ningún problema de tiempos, se optó mayor precisión y resolución antes que menos interrupciones al programa.

Dentro de la interrupción del Timer1, se realiza el switcheo de la salida. Dependiendo la función elegida por el usuario, dentro del Timer1 se presentan 4 modos distintos:

- Fuente de luz: la salida queda en cero. Esto hace que el MOSFET esté siempre abierto y el LED no parpadee.
- Manual: se recibe el valor de la frecuencia de salida por Bluetooth que es enviada por el Pic18f2550.
- Automático: se utiliza el algoritmo de obtención de la frecuencia fundamental para generar la salida.
- Relentizado: se corre la frecuencia del algoritmo automático en 0,5Hz para observar la vibración de las cuerdas vocales en cámara lenta.



Capítulo 4, Figura 2 - Diagrama en bloques del módulo Timer1

4.1.4 Interrupción por UART

El concepto de comunicación serial es sencillo. El puerto serial envía y recibe bytes de información un bit a la vez. Aún y cuando esto es más lento que la comunicación en paralelo, que permite la transmisión de un byte completo por vez, este método de comunicación es más sencillo y puede alcanzar mayores distancias.

Típicamente, la comunicación serial se utiliza para transmitir datos en formato ASCII. Para realizar la comunicación se utilizan 3 líneas de transmisión: (1) Tierra (o referencia), (2) Transmitir, (3) Recibir. Debido a que la transmisión es asíncrona, es posible enviar datos por una línea mientras se reciben datos por otra. Las características más importantes de la comunicación serial son la velocidad de transmisión, los bits de datos, los bits de parada, y la paridad. Para que dos puertos se puedan comunicar, es necesario que las características sean iguales.

- Velocidad de transmisión (baud rate): indica el número de bits por segundo que se transfieren.
- Bits de datos: se refiere a la cantidad de bits en la transmisión.
- Bits de parada: utilizado para indicar el fin de comunicación de un solo paquete.
- Paridad: en una forma sencilla de verificar si hay errores en la transmisión serial.

Como ya sabemos, este dsPIC no es el encargado de elegir que función realizar, sino que es una orden que le llega por Bluetooth por parte del Pic que actúa como interfaz con el usuario. Pero la comunicación entre el módulo Bluetooth y el dsPIC se realiza por RS-232.

Para utilizar eficientemente el código se trabaja por interrupción, cada vez que la bandera de buffer lleno se levanta, se interrumpe el programa. Es decir, cada vez que llega un dato, el programa se interrumpe y es atendida la interrupción.

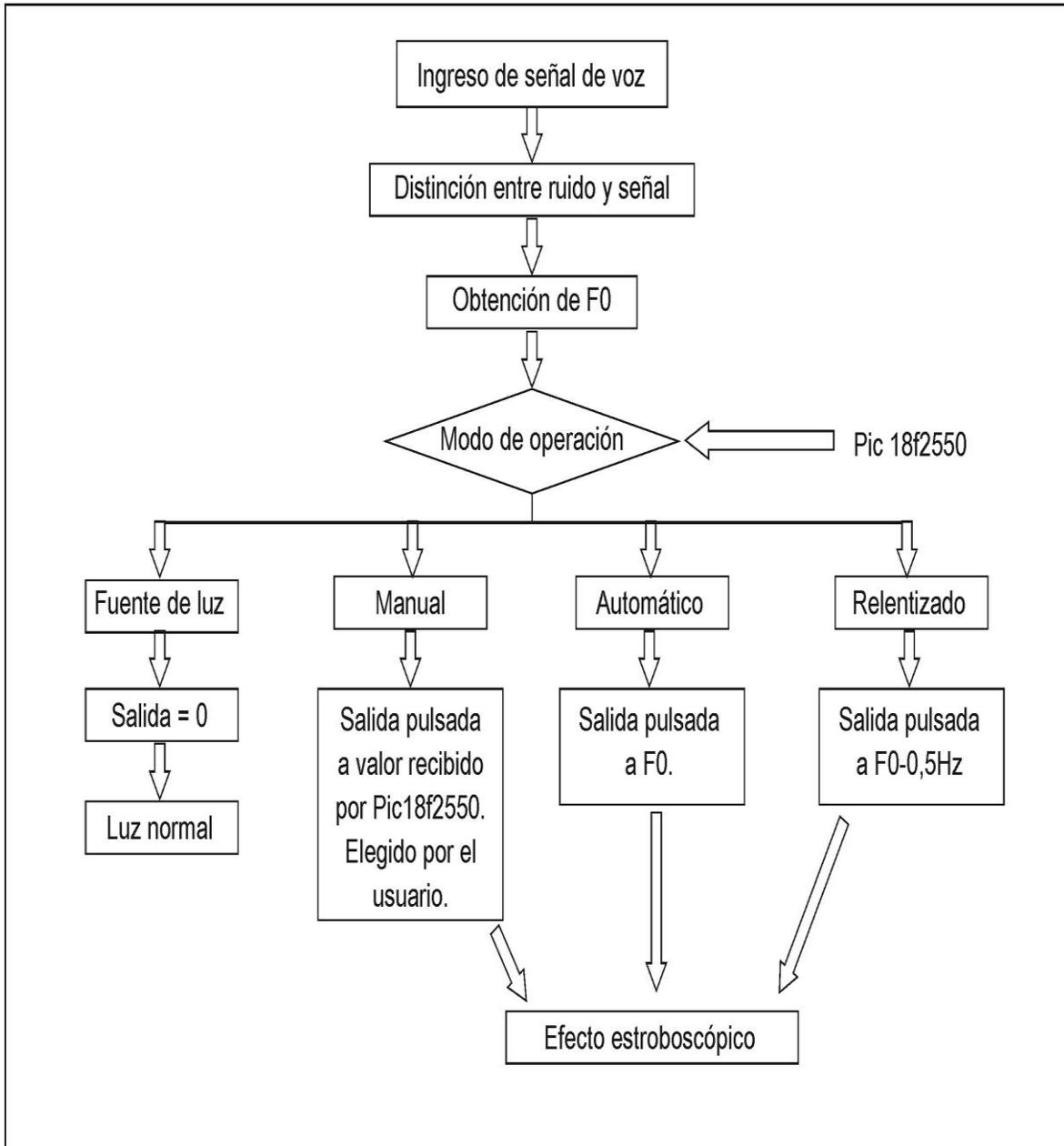
Como el Pic no envía solamente el comando de acción que debe cumplir el dsPIC, sino que también en modo manual envía la frecuencia de salida, se realizó una sincronización entre los dos microcontroladores para que en caso de ruido, no se pierda la comunicación. Además el microcontrolador envía los valores de la frecuencia fundamental cuando está en modo automático o relentizado.

Para lograr una buena comunicación, el maestro en la comunicación siempre es el Pic18f2550, él es quien que inicia la conversación. El dsPIC se encuentra a la espera de la orden que va a recibir. El desenlace que se presenta en la comunicación es el siguiente:

1. El Pic envía una letra para indicar qué modo de operación eligió el usuario. Estas pueden ser: “a” (Fuente de luz), “b” (Manual), “c” (Automático), “d”(Relentizado)
2. En caso de ser una letra “b”, los siguientes 5 bytes que reciba el dsPIC, son el valor de frecuencia que está enviando el Pic y un byte extra para avisar que terminó de enviar los datos correspondientes a la frecuencia. Después de estos 5 bytes, si el usuario continúa utilizando el modo manual, el Pic vuelve a enviar la letra “b” para comenzar de nuevo.
3. En caso de recibir la letra “c” o “d”, se activan el modo automático o relentizado. Luego el Pic envía la letra “z” indicándole al dsPIC que le envíe

el valor de la frecuencia de salida, para así poder mostrarlo en pantalla al usuario. En caso de querer cambiar de operación, se vuelve a enviar algunas de las primeras 4 letras del abecedario para indicar el cambio.

4.1.5 Diagrama de flujo



Capítulo 4, Figura 3 - Diagrama de flujo del programa dsPIC

4.2 Implementación en el Pic 18f2550

Como se dijo en capítulos anteriores, este microcontrolador es utilizado para realizar la interfaz con el usuario. Este posee un panel frontal donde el usuario mediante el uso de llaves, puede elegir la función a realizar. E incluso cuenta con dos potenciómetros utilizados en el modo manual para elegir de esa manera, la frecuencia de pulsado de la fuente.

Surgió la necesidad de utilizar un equipo externo a la fuente de luz, para no tener que practicar orificios en la carcasa de la misma. Esta fuente cumple con determinadas normas de seguridad y al agujerearla para agregar las llaves, los potenciómetros y el display, estaríamos interfiriendo con esas normas, además de que por el espacio físico del gabinete sería muy difícil poder acomodar todos estos componentes. El único orificio que se realizó fue para la entrada del micrófono.

Además, se planea presentar el prototipo a la empresa fabricante, con la menor cantidad de modificaciones posibles en su estructura, para que sea visto como una opción viable de construcción.

Que la comunicación sea inalámbrica, es una mejora que presenta comodidad al usuario a la hora de realizar las pruebas. Se plantea también la mejora futura de realizar una aplicación para controlar el equipo con el celular. Esto si sería una gran novedad en el mercado.

Este microcontrolador también se utilizó para realizar la configuración y sincronización de los módulos Bluetooth.

4.3 Módulos Bluetooth

Los módulos vienen maestro y esclavo en una misma placa y vía comandos AT se configura cuál de los dos modos queremos usar. El chip en si trabaja en 3.3v pero viene soldado sobre una placa que adapta todos sus pines para poder usarlo en 5V

4.3.1 Características técnicas

4.3.1.1 Hardware

- Typical -80dBm sensitivity
- Up to +4dBm RF transmit power
- Power 5v
- UART interface with programmable baud rate
- With integrated antenna
- With edge connector

4.3.1.2 Software

- Supported baud rate: 9600, 19200, 38400, 57600, 115200, 230400, 460800.

- Given a rising pulse in PIO0, device will be disconnected.
- Status instruction port PIO1: low-disconnected, high-connected;
- PIO10 and PIO11 can be connected to red and blue led separately. When master and slave are paired, red and blue led blinks 1time/2s in interval, while disconnected only blue led blinks 2times/s.
- Auto-connect to the last device on power as default.
- Permit pairing device to connect as default.
- Auto-pairing PINCODE:"0000" as default.
- Auto-reconnect in 30 min when disconnected as a result of beyond the range of connection.

4.3.2 Configuración

EL modulo Bluetooth HC-05 viene configurado de fábrica como Esclavo, pero se puede cambiar para que trabaje como maestro, además, se puede cambiar el nombre, código de vinculación velocidad y otros parámetros más.

Definamos que significa que es un dispositivo Bluetooth maestro y esclavo:

- Esclavo: espera que un dispositivo bluetooth maestro se conecte a este, generalmente se utiliza cuando se necesita comunicarse con una PC o Celular, pues estos se comportan como dispositivos maestros. En nuestro caso el dsPIC es el esclavo.
- Maestro: en este modo, el HC-05 es el que inicia la conexión. Un dispositivo maestro solo se puede conectarse con un dispositivo esclavo. Generalmente se utiliza este modo para comunicarse entre módulos bluetooth. Pero es necesario antes especificar con que dispositivo se tiene que comunicar. De manera contraria, el PIC es el maestro.

El módulo viene configurado por defecto de la siguiente forma:

- Modo: esclavo.
- Nombre: HC-05.
- Clave de emparejamiento: 1234.
- Baud rate: 9600.

El módulo puede estar en 4 estados:

- Desconectado: no se encuentra conectado a ningún dispositivo. El LED parpadea rápidamente.
- Conectado: entra en este estado cuando se conecta a algún dispositivo. El LED hace un doble parpadeo.

Trabajo Final – Estroboscopio Laríngeo Automático

- Modo AT1: para entrar a este modo es necesario apretar el botón del HC-05. En este estado, podemos enviar comandos AT, pero a la misma velocidad con el que está configurado.
- Modo AT2: para entrar en este modo, hay que mantener presionado el botón, luego alimentar y después se puede soltar. Para enviar comando AT, es necesario hacerlo con un baud rate de 38400. El LED parpadea lentamente.

Para realizar la configuración de los dos módulos, se implementó un programa en el Pic18f2550 donde se transmitían por la UART los comandos AT necesarios para configurar dichos módulos. Los comandos AT utilizados fueron:

- Cambiar nombre: “AT+NAME=EJEMPLO”
- Cambiar clave de vinculación: “AT+PSWD=XXXX”
- Comunicación: “AT+UART=<Baud>, <StopBit>,<Parity>”
- Modalidad de trabajo: para esclavo “AT+ROLE=0” y para maestro “AT+ROLE=1”.

Una vez que se configura como maestro es necesario indicarle con quien se va a conectar y se realiza de la siguiente manera:

- Primero se debe configurar si se conectará con cualquier dispositivo disponible o con uno en particular. En nuestro caso necesitamos que solo se conecte con el otro módulo configurado como esclavo, por lo tanto el código AT que enviamos es: “AT+CMODE=0”
- Luego debemos especificar la dirección del dispositivo al cual nos conectaremos. Para eso necesitamos saber la MAC del dispositivo esclavo. Esta la conseguimos conectándonos con un celular al módulo y viéndolo en la información del dispositivo conectado. Luego enviamos el comando AT de la siguiente manera: “AT+BIND=<Address>”, donde la Address se envía de la siguiente manera: suponiendo que la MAC es 12:34:56:AB:CD:EF, se envía así: 1234,56,ABCDEF.

5 – Diseño y armado, de placas y equipo

5.1 Diseño de placas

Para el proyecto fue necesario la construcción de 3 placas distintas. Una donde se encuentra el circuito de entrada y el dsPIC, otra para la etapa de potencia por cuestión de ubicación dentro del equipo, y una tercera placa para el equipo externo donde se coloca el Pic.

Para realizar el diseño se utilizó el programa Altium Designer, un software de alta calidad y grandes prestaciones. Los pasos para diseñar un PCB son los siguientes:

1. Crear un proyecto nuevo.
2. Diseñar los circuitos de manera esquemática.
3. Crear un documento de PCB y transferir el diseño esquemático a la placa.
4. Configurar las reglas de ruteo, es decir, el ancho de pistas, la mínima separación entre ellas, etc.
5. Ubicar los componentes de manera práctica y eficiente para realizar la interconexión ente los mismos.
6. Generar un plano de masa para mejorar las interferencias y el ruido.

5.1.1 Cálculo de ancho de pistas

Para calcular el ancho de una determinada pista necesitamos conocer tres datos: la corriente máxima que puede circular por la pista, el incremento máximo permitido de temperatura que puede soportar esa pista y el grosor de la pista.

El grosor se suele expresar en una medida poco convencional: onzas por pie cuadrado. Una pista con un grosor de 1 onza por pie cuadrado se corresponde con una pista de 35 micras de grosor. Normalmente las empresas que construyen circuitos impresos los hacen utilizando medidas estándar para el grosor de pista de 1, 2 y 3 onzas por pie cuadrado, es decir 35, 70 y 105 micras. En nuestro caso es de 1 onza por pie cuadrado.

Las fórmulas son las siguientes:

- $\text{Ancho} = \text{Área} / (L * 1,378)$

Donde L es el grosor de la pista, en nuestro caso: 1.

El área se puede calcular de la siguiente manera:

- $\text{Área} = [I / (k1 * \Delta T k2)]^{1/k3}$

I es la corriente máxima en nuestro caso ponemos un valor de 500mA.

K1 es una constante de valor: 0,0647.

K2 es otra constante de valor: 0,4281.

K3 también constante de valor: 0,6732.

Trabajo Final – Estroboscopio Laríngeo Automático

Estos valores varían si la pista es externa o interna (esto es para casos donde se tienen más de 2 capas). En nuestro caso son externas.

ΔT le damos un valor de 20°C.

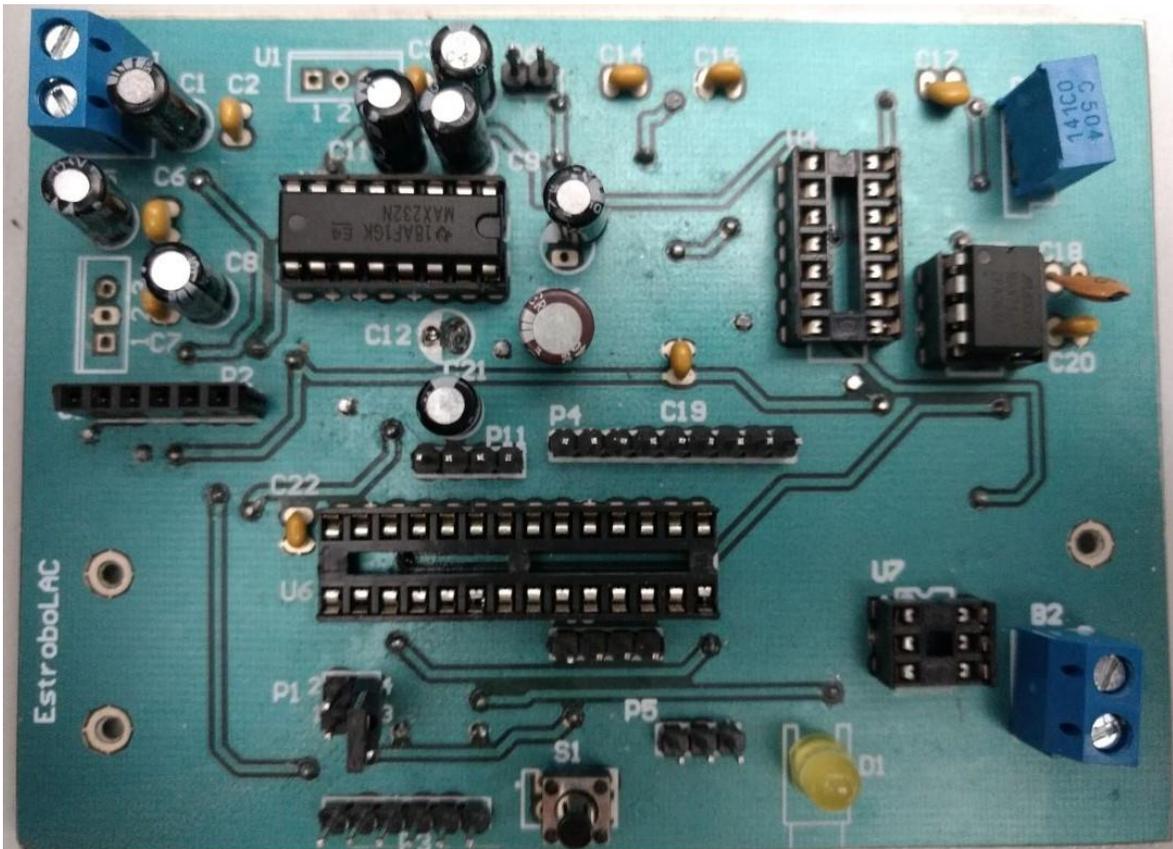
Realizando todos los cálculos nos da un ancho de aproximadamente 1 mils, es decir 0,025mm. Pero en nuestro caso, lo que terminó definiendo el ancho mínimo de las pistas, fue el fabricante y su instrumentación. Por ese motivo el ancho mínimo resultó en 10mils, que es 0,25mm. Como no era necesario un diseño extremadamente pequeño, ya que contábamos con un espacio considerable, utilizamos pistas de 0,5mm para asegurarnos un correcto funcionamiento.

Para la placa del MOSFET la corriente dejó de ser de 500mA para ser de 20 Amper. Esto produjo que el ancho mínimo de la pista sea de aproximadamente 40mils que es 1mm.

5.1.2 Placas

De las 3 placas que se fabricaron en un principio, 2 se volvieron a diseñar y construir. Ambas fueron por mejoras en el diseño y por cambios en el equipo. A continuación se mostrará los cambios en las placas:

5.1.2.1 Placa para circuito de entrada y dsPIC



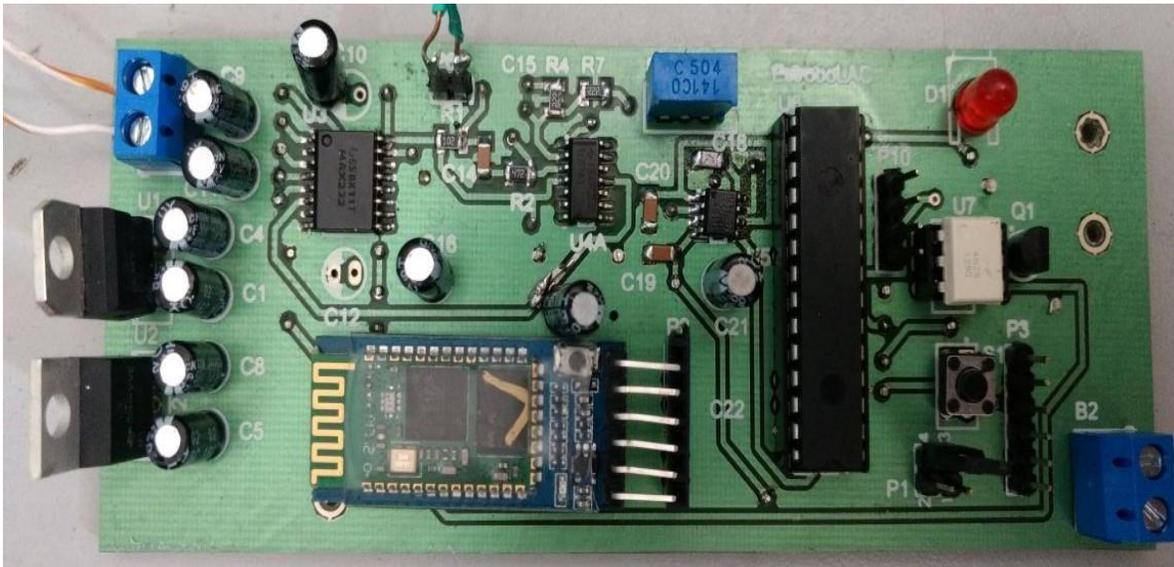
Capítulo 5, Figura 1- Primer prototipo de placa para circuito de entrada y dsPIC

Trabajo Final – Estroboscopio Laríngeo Automático

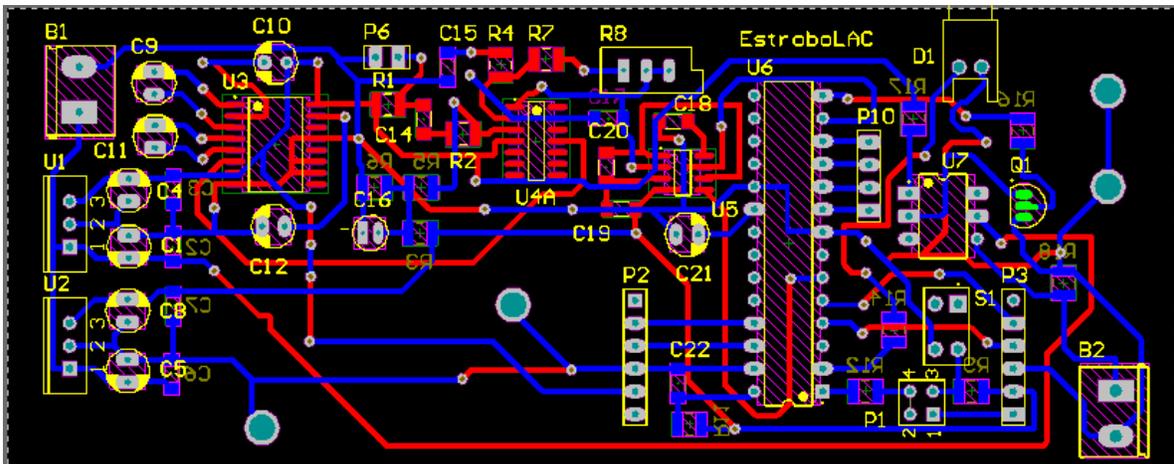
Esta placa fue desarrollada como prototipo para comprobar el funcionamiento del sistema y la búsqueda de posibles fallas tanto en circuito de entrada como en el mapeado del dsPIC. En la etapa de entrada nos encontramos con una falla en la salida del MAX232 que utilizamos para generar los -5 Volt. En vez de obtener una tensión de salida continua, se observaba una señal pulsada. Para solucionar este problema se colocó un filtro a la salida con un capacitor de 1 μ F en paralelo a masa.

Otro inconveniente encontrado fue un mal diseño del circuito de polarización del fototransistor del optoacoplador.

Y por último, pero no de menor importancia, se decidió cambiar la mayoría de los componentes por SMD. Esto redujo considerablemente el tamaño de la placa. La nueva placa quedó de menor tamaño y con un mejor diseño para el lugar disponible dentro del equipo:



Capítulo 5, Figura 2 - Placa final para circuito de entrada y dsPIC

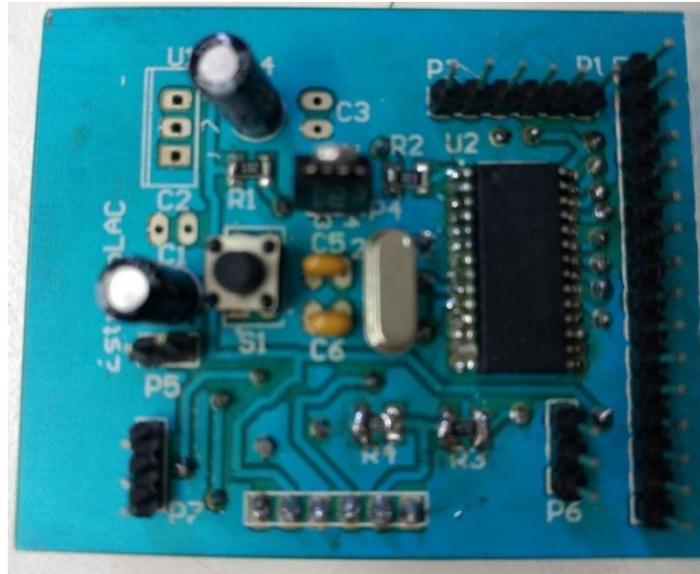


Capítulo 5, Figura 3 - Diseño en Altium Designer

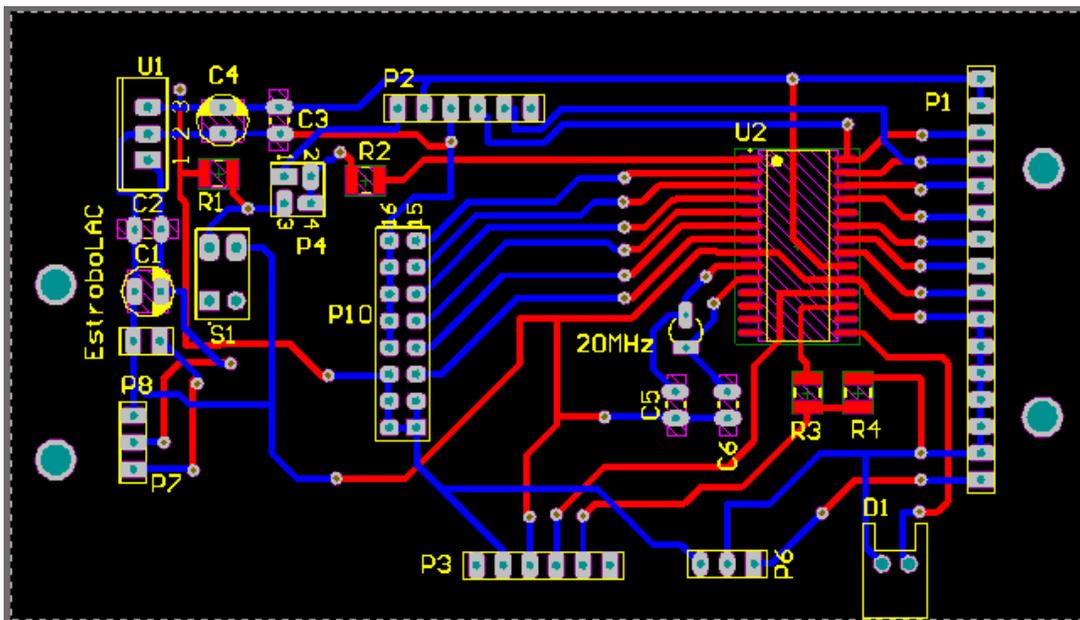
No se pudo conseguir el dsPIC con integrado SMD, ya que no había ningún distribuidor que lo tenga en Argentina. El optoacoplador por razones de posibles cambios por quemaduras, se mantiene el integrado SOIC.

5.1.2.2 Placa para equipo externo

Al igual que con la placa anterior, se realizó un primer prototipo que después se modificó por una versión mejorada.

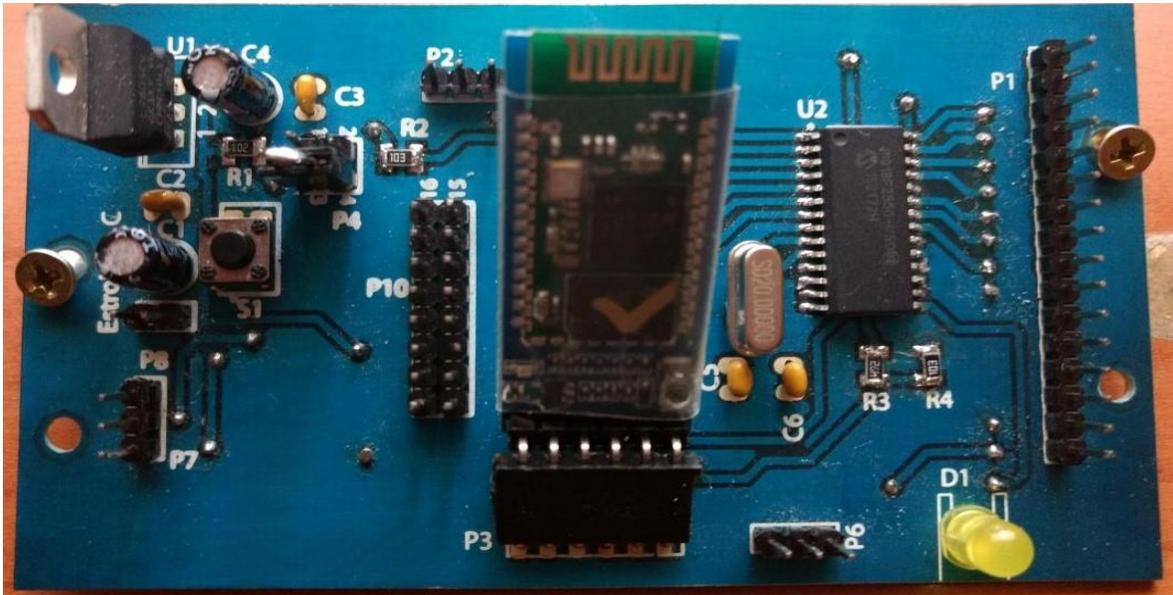


Capítulo 5, Figura 4 - Primer prototipo placa para equipo externo



Capítulo 5, Figura 5 - Diseño en Altium Designer

Como puede notarse en la imagen, al ser la primera placa desarrollada y soldada con integrados SMD, presenta algunos errores. En cuanto a la soldadura, aunque funcionó, al momento de soldar los through-hole algunas pistas se levantaron y hubo que realizar algunos arreglos para que funcionara de manera correcta. Igualmente, se produjo un cambio en el proyecto y se requirió de agregar una conexión al puerto “A” para poder utilizarlo. Este fue el motivo principal para volver a realizar la placa.



Capítulo 5, Figura 6 - Prototipo final para placa del equipo externo

5.2 Diseño de la carcasa del equipo externo

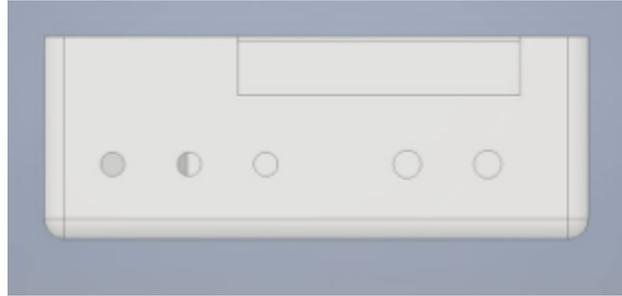
Para construir la carcasa del equipo externo, se realizó el diseño utilizando un software dedicado, utilizado para realizar desde pequeños equipos hasta máquinas industriales. Este programa, es el Inventor de Autodesk.

A la hora de elegir entre comprar una caja genérica y adaptarla para armar el equipo, surgió la idea de realizar una carcasa a medida e imprimir el prototipo en 3D. Esto, además de lo positivo que tiene de aprender a utilizar un software de modelado como es el Inventor, presenta una gran ventaja al momento de presentar el equipo frente al fabricante de la fuente, Ecleris. Ya que de esta manera, al tener los planos del equipo, se puede enviar a construir la matriz, para luego realizar el producto por inyección y realizarlo en escala industrial.

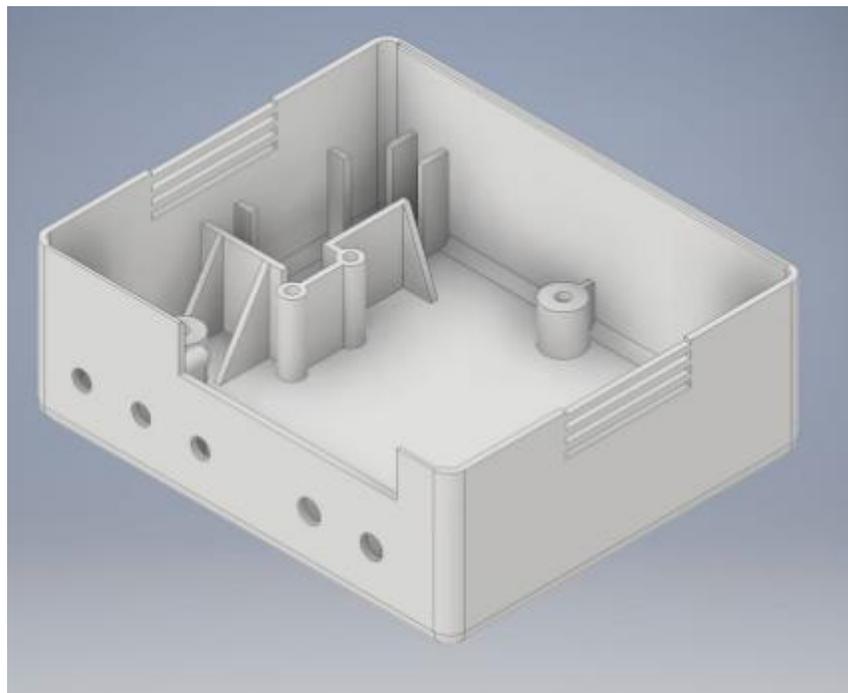
Para realizar el equipo, primero se diseñó la base, donde estarían ubicados la placa, la batería y los elementos del panel frontal (llaves, potenciómetros y el display). Una vez

Trabajo Final – Estroboscopio Laríngeo Automático

diseñada, impresa y testeada, se procedió a diseñar la tapa del equipo, la cual simplemente llevar botón de encendido.

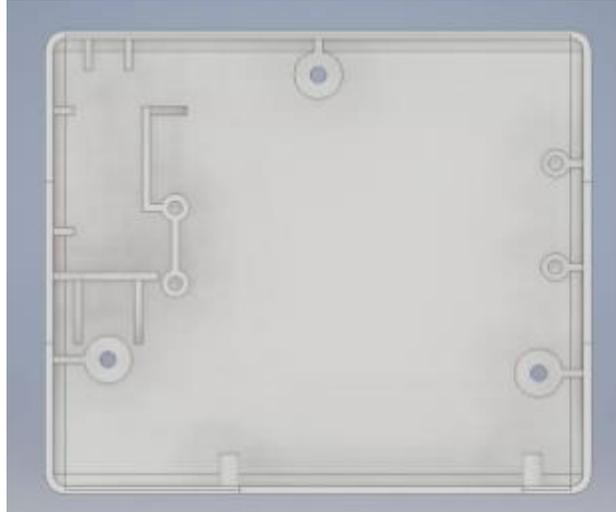


Capítulo 5, Figura 7 - Vista frontal de la base

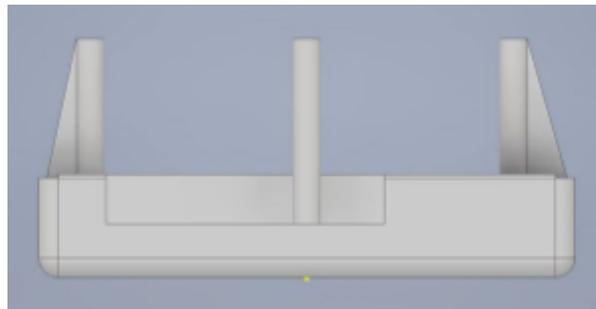


Capítulo 5, Figura 8 - Vista isométrica de la base

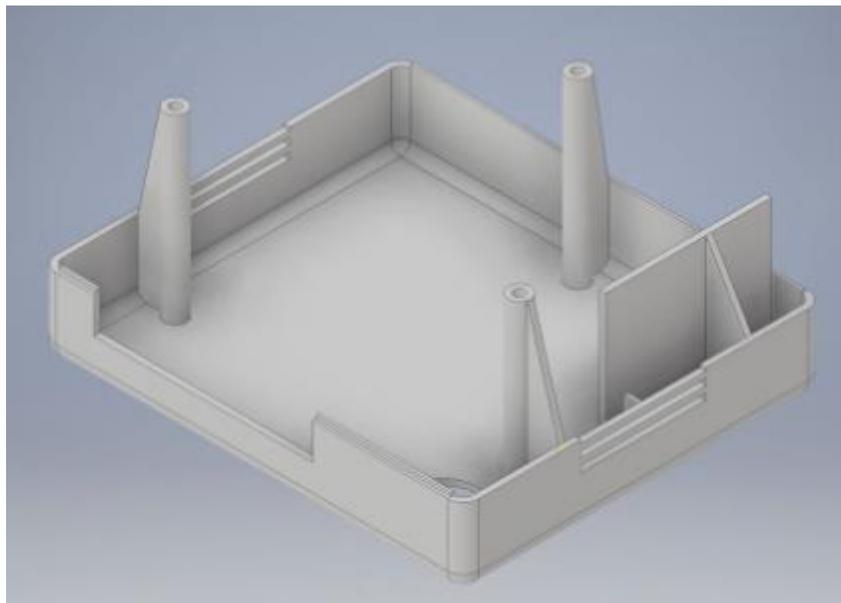
Trabajo Final – Estroboscopio Laríngeo Automático



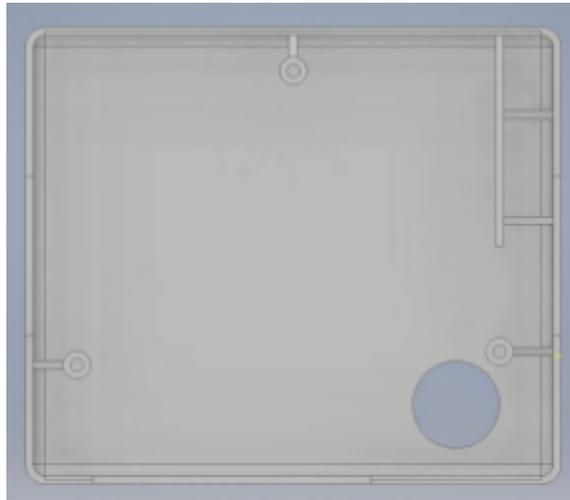
Capítulo 5, Figura 9 - Vista superior de la base



Capítulo 5, Figura 10 - Vista frontal de la tapa



Capítulo 5, Figura 11 - Vista isométrica de la tapa

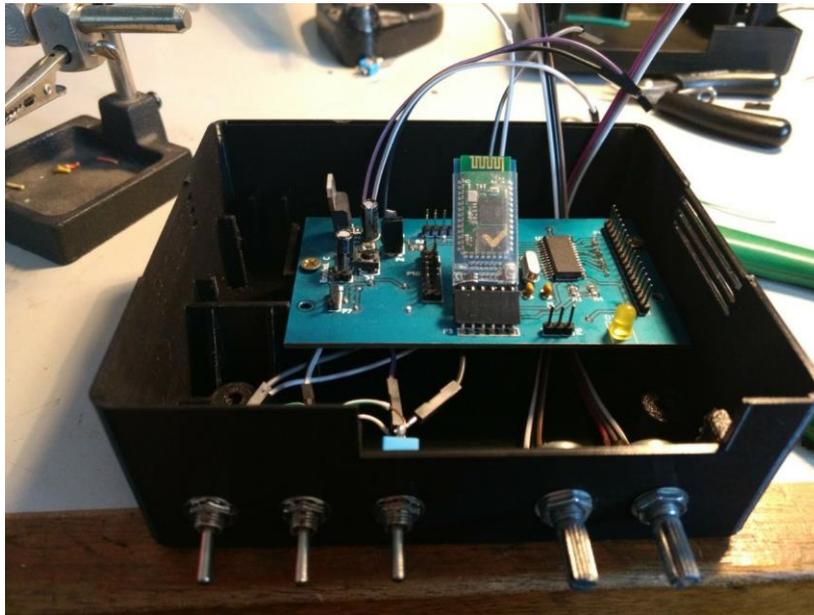


Capítulo 5, Figura 12 - Vista inferior de la tapa

5.3 Armado del equipo y presentación

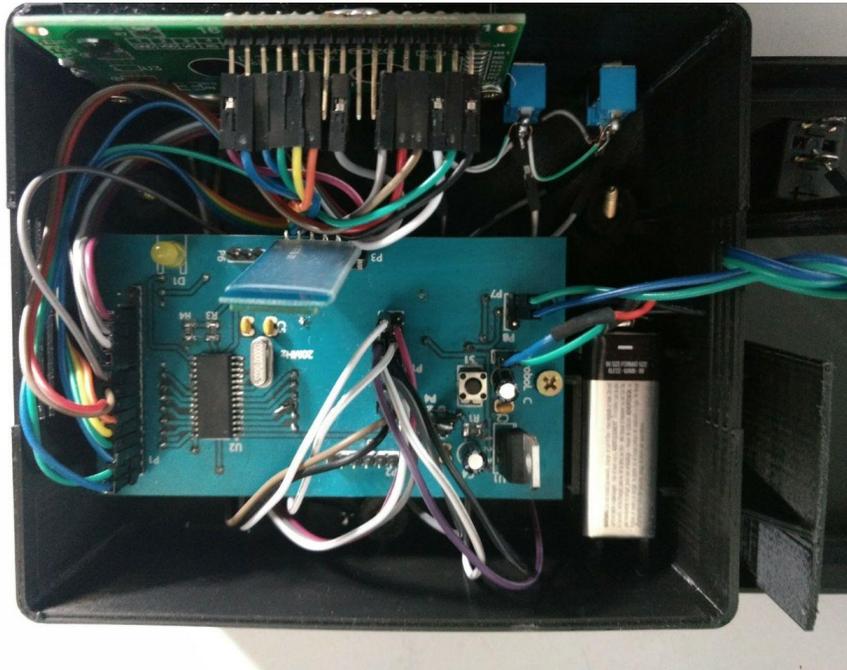
A continuación se mostrarán imágenes del proceso de armado tanto del equipo auxiliar, como de la transformación de la fuente de luz a un estroboscopio laríngeo automático.

5.3.1 Esquipo auxiliar



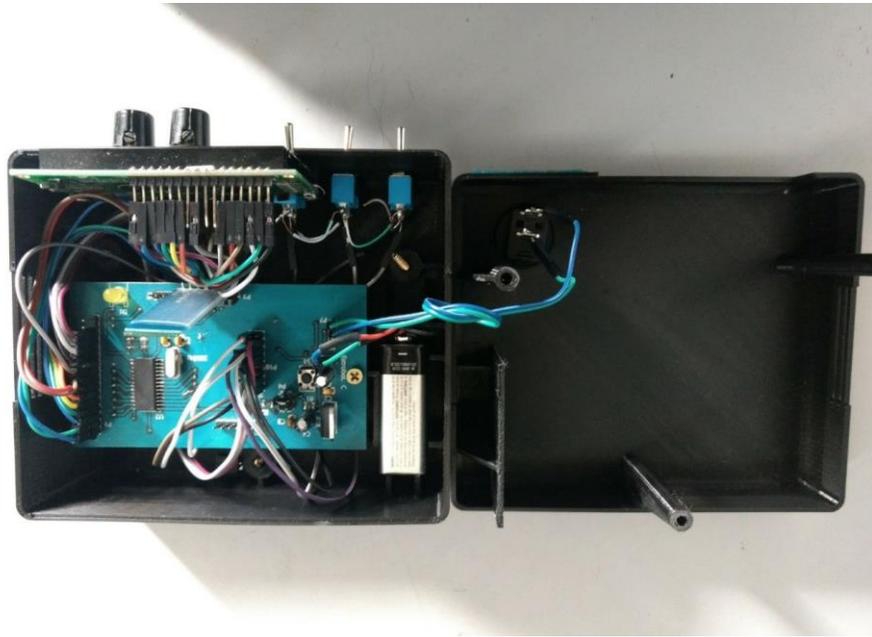
Capítulo 5, Figura 13 - Colación de la placa y del panel frontal

Trabajo Final – Estroboscopio Laríngeo Automático



Capítulo 5, Figura 14 - Colación del display

Trabajo Final – Estroboscopio Laríngeo Automático



Capítulo 5, Figura 15 - Colocación de botón de encendido



Capítulo 5, Figura 16 - Equipo terminado

5.3.2 Estroboscopio



Capítulo 5, Figura 17 - Colocación fuente de alimentación de la placa agregada

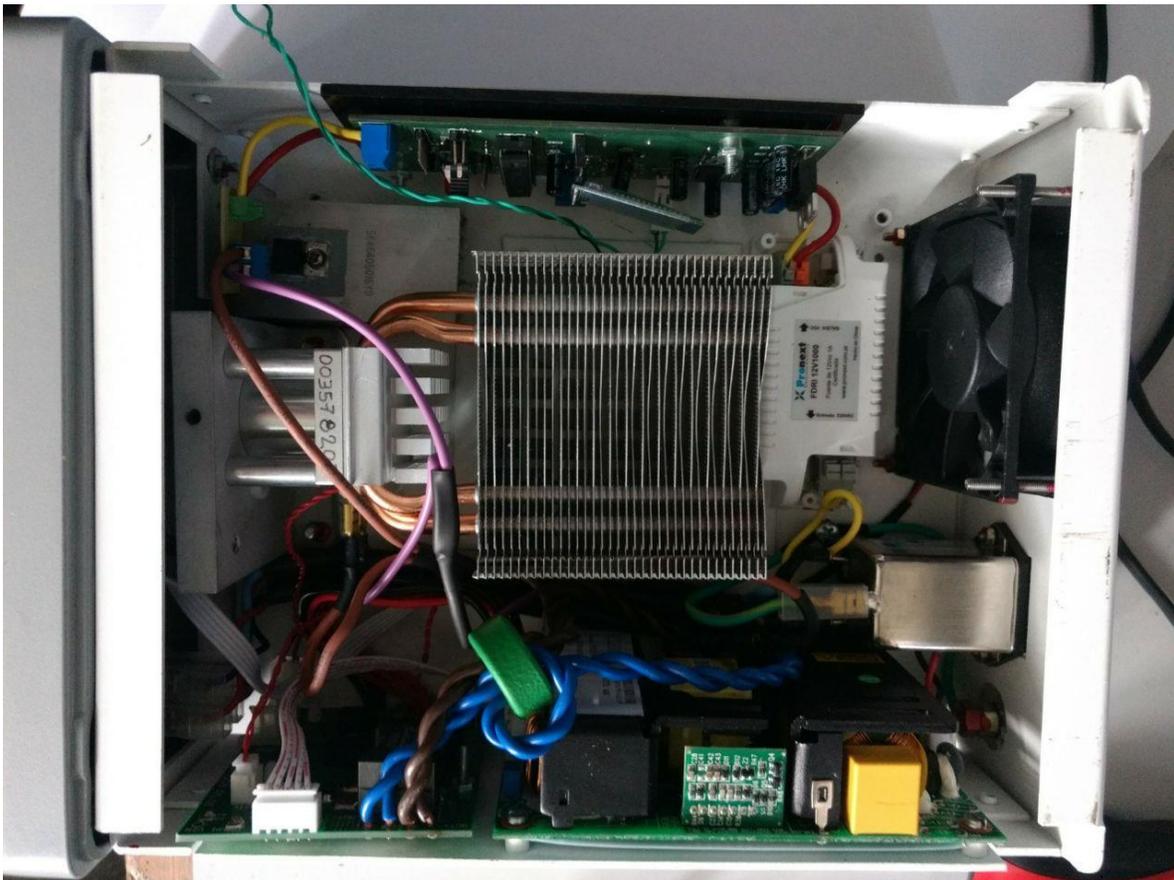


Capítulo 5, Figura 18 - Colocación de la placa con el circuito de entrada y el dsPIC

Trabajo Final – Estroboscopio Laríngeo Automático



Capítulo 5, Figura 19 - Colocación del MOSFET



Capítulo 5, Figura 20 - Equipo completo

Conclusiones y futuras mejoras

En este proyecto se logró diseñar y construir un estroboscopio para el estudio de las diferentes patologías de las cuerdas vocales. Uno de los objetivos primordiales, era que este producto debía tener características, en cuanto al funcionamiento, similares a los productos que existen hoy en día en el mercado y tener un bajo costo. Mediante este proyecto se buscó modificar un producto de una empresa ya creado y realizarle ciertas modificaciones para luego presentarlo al fabricante como una mejora de su equipo.

Algunos de los componentes, tales como los microcontroladores (dsPIC y PIC), que se emplearon para desarrollar el estroboscopio laríngeo automático, fueron otorgados por el Dr. Ing. Uriz, Alejandro. Los mismos, ya habían sido utilizados para otros proyectos con distintas finalidades. Por lo tanto, ya se tenía conocimiento previo de estos microcontroladores, lo cual facilitó el desarrollo de este proyecto.

Cabe distinguir que la importancia de llevar a cabo un proyecto de esta índole, permite englobar conceptos previamente adquiridos a lo largo de la carrera de Ingeniería Electrónica, como así también el aprendizaje sobre nuevas cuestiones, tales como programación de microcontroladores en dos lenguajes distintos, diseño de placas y utilización de un software de modelización 3D.

Además de esos conceptos aprendidos, el proyecto necesitó de cierta organización previa para realizar el estudio y pruebas necesarias para saber si el camino que se iba a tomar era viable o no. Para eso, se construyeron distintos bancos de pruebas para probar distintos escenarios. En los cuales la respuesta siempre fue exitosa.

Las mediciones realizadas demuestran que el algoritmo de cálculo de F0 implementado en el microcontrolador determina con exactitud el periodo fundamental de la señal de voz, pudiendo seguir en tiempo real, las variaciones de la misma, brindando de esta forma un correcto funcionamiento del equipo.

En cuanto al circuito de entrada, la ganancia del amplificador, se podría realizar con un control automático, utilizando dsPIC. Con este cambio, nos aseguramos de no saturar la señal de entrada.

La utilización de un equipo externo para realizar la interfaz con el usuario presenta una gran ventaja a la hora de utilizar el producto. Ya sea por su comodidad para el uso y por no tener la necesidad de intervenir la fuente de luz.

En cuanto a eso, es importante tener en cuenta, que la realización de una aplicación de celular para controlar el dispositivo sería una gran novedad. La idea no está evaluada con los profesionales que la usarán, pero se imagina que puede llegar a tener mucho éxito.

Otra mejora que se puede realizar del equipo, es la inclusión de poder modificar el ancho del pulso de trabajo en la salida. Aunque estamos perdiendo potencia lumínica, en

Trabajo Final – Estroboscopia Laríngea Automática

algunos pacientes donde la frecuencia es complicada de obtener, con un ancho de pulso menor es más factible lograr el efecto estroboscópico.

Igualmente, también se puede tener en cuenta la mejora del algoritmo de adquisición e implementarlo en un microcontrolador más potente. De esta manera tal vez no sea necesaria la existencia de un equipo externo auxiliar o de una aplicación móvil para controlarlo.

El diseño de las placas, se podría comprimir aún más utilizando en su totalidad componentes SMD. Aunque realmente no es una mejora primordial, ya que el espacio utilizado sobra.

Bibliografía

- [1] “Anatomía funcional de la voz”. Autora: Dra. Begoña Torres. Disponible en: <http://www.medicinadelcant.com/cast/1.pdf>
- [2] “Estroboscopia para Laringología”. Autor: Berardi, Gustavo Adolfo. Marzo 2006. Laboratorio de Comunicaciones, Facultad de Ingeniería. UNMDP.
- [3] “La Voz Patológica”, Autor: María Cristina A. Jackson Menaldi. 2005.
- [4] “Patología de la Voz”, Autores: Ignacio Cobeta, Faustino Núñez y Secundino Fernández. Sociedad Española de Otorrinolaringología y Patología Cérvico-Facial 2013.
- [5] “Ecleris (Innovation Value)”. Disponible en: <http://www.ecleris.com/es/>
- [6] “Atmos (Medicine Technik)”. Disponible en: <http://www.atmosmed.es/>
- [7] “Desarrollo de un dispositivo de asistencia auditiva portátil basado en un dsPIC”. Autores: Francisco Denk, Alejandro Uriz, Pablo Agüero, Juan Carlos Tulli, Esteban González, Juan Garín y Simón Bourguigne. IBERDISCAP 2011. Palma de Mallorca, España. Junio, 2011.
- [8] “MICROCHIP Inc. dsPIC33FJ128GP802” (Datasheet). Disponible en: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70292G.pdf>
- [9] “Embedded speaker verification system”. Autores: Maximiliano Lizondo, Pablo Daniel Agüero, Alejandro José Uriz, Juan Carlos Tulli y Esteban González. IEEE Argencon 2012. Córdoba, Argentina. 13-15 Junio, 2012.
- [10] “MICROCHIP Inc. MPLAB® C30 user’s guide”. Disponible en: http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/c30_users_guide_51284f.pdf
- [11] “MICROCHIP Inc. MPLAB® IDE user’s guide”. Disponible en: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/51519a.pdf>
- [12] “Texas Quad Low-Noise JFET-Input General-Purpose Operational Amplifier TL074CN” (Datasheet). Disponible en: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl074.pdf>
- [13] “Desarrollo de un sistema de asistencia auditiva Reprogramable” UNMDP. Autor: Ing. Alejandro José Uriz. Junio de 2014.
- [14] “MAX7404 de Maxim Inc.” (Datasheet). Disponible en: <http://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/73765/MAXIM/MAX7404.html>
- [15] “RS232 (EIA232)”. Disponible en: <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/039001258CEF8FB686256E0F005888D1>

Trabajo Final – Estroboscopio Laríngeo Automático

- [16] “MICROCHIP Inc. PIC18F2550” (Datasheet). Disponible en: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39632e.pdf>
- [17] “Conexión de una pantalla LCD a un microcontrolador”. Disponible en: http://server-die.alc.upv.es/asignaturas/Ised/200203/Pantallas_LCD/LCD.pdf
- [18] “Optoacopladores”. Disponible en: http://www.itlalaguna.edu.mx/Academico/Carreras/electronica/opteca/OPTOPDF3_archivos/UNIDAD3TEMA1.PDF
- [19] “Optoacoplador 4N25, MOTOROLA” (Datasheet). Disponible en: <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/motorola/4N26.pdf>
- [20] LM3434 “Common Anode Capable High Brightness LED Driver with High Frequency Dimming”. Disponible en: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm3434.pdf>
- [21] “Mosfet IRFZ44N” (Datasheet). Disponible en: <https://www.infineon.com/dgdl/irfz44n.pdf?fileId=5546d462533600a40153563b3575220b>
- [22] “Transistor BC548” (Datasheet). Disponible en: <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/fairchild/BC548C.pdf>
- [23] “Regulador lineal uA78M33” (Datasheet). Disponible en: <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/texasinstruments/ua78m33.pdf>
- [24] “Regulador lineal uA78M05” (Datasheet). Disponible en: <http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheet/texasinstruments/ua78m05.pdf>
- [25] “Fuente de tensión FDRI 12v1000”. Disponible en: <https://www.pronext.com.ar/fuente-switching-modular-pronext-de-tension-de-salida-12vcc-1000ma-certificada-fdri-12v1000-1170>

Agradecimientos

Quiero agradecer a mi familia, gracias a la cual, tuve la oportunidad de poder estudiar una carrera universitaria, brindándome siempre todo el apoyo necesario para seguir adelante y finalizarla.

A mis amigos de toda la vida, que aunque a veces no los pude ver muy seguido, siempre me apoyaron y confiaron que este día llegaría.

A mis amigos de la Facultad de Ingeniería, los cuales hemos pasados largos días de estudio. Entre peleas y risas la carrera se hizo más ameno.

A los profesores de Ingeniería Electrónica por brindarme las herramientas de comprensión necesarias para poder finalizar con esta carrera.

Finalmente a mi director y codirector de tesis, por darme la oportunidad de desarrollar este proyecto en el Laboratorio de Comunicaciones, estando siempre a mi disposición y ayudándome en todo lo necesario. Como así también al resto de profesores que conforman el LAC, por su ayuda e intriga, acerca del este trabajo de tesis.

¡Muchísimas gracias!