

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN
ENTRENADOR AUDITIVO**

**ANGÉLICA DUARTE MOYA
JERSON DAVID LINDAO ARGUELLO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO - MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2005**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN
ENTRENADOR AUDITIVO**

**ANGÉLICA DUARTE MOYA
JERSON DAVID LINDAO ARGÜELLO**

Este proyecto es presentado como requisito para optar al título de Ingeniero
Electrónico

**Director
MPE. JAIME GUILLERMO BARRERO PÉREZ
Codirector
Ing. ARNULFO GALÁN**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2005**

*A él, a mis padres, a mis hermanos,
a mis tías Carlina y Rosita y a mis consentidas.*

Angélica

A Dios, mis padres y hermanos.

Jerson

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento y reconocimiento a:

Nuestras familias por su apoyo incondicional.

MPE. Jaime Guillermo Barrero Pérez, director del proyecto y al Ingeniero Arnulfo Galán, codirector del proyecto, por su orientación y colaboración.

Ana Patricia López y Adriana Valderrama, asesoras.

Doctora Martha Hijuelos Cárdenas y profesor Alfredo Rafael Acevedo por su colaboración y asesoría.

La Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

La Universidad Industrial de Santander.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. PARALISIS CEREBRAL	4
1.1 DEFINICIÓN	4
1.2 EFECTOS	4
1.3 CLASIFICACIÓN	6
1.3.1 Según el grado de afectación	6
1.3.2 Según la extensión del daño	6
1.3.3 Según el tipo de perturbación en el movimiento	7
1.4 TRATAMIENTO EN EL ÁMBITO DEL LENGUAJE	8
2. COMUNICACIÓN AUMENTATIVA Y ALTERNATIVA	9
2.1 CONCEPTO	9
2.2 OBJETIVOS	10
2.3 TIPOS DE SISTEMAS	10
2.4 AYUDAS TÉCNICAS	11
2.5 ELECCIÓN Y ADECUACIÓN DE UNA AYUDA TÉCNICA	14
2.6 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN	16
3. HARDWARE DEL ENTRENADOR AUDITIVO	18
3.1 PARÁMETROS DE DISEÑO	18
3.2 DESCRIPCIÓN GENERAL	19
3.3 BLOQUES FUNCIONALES	20
3.3.1 Teclado	20

3.3.2	Cerebro electrónico	21
3.4	SELECCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS QUE CONFORMAN EL SISTEMA ELECTRÓNICO	22
3.4.1	Almacenamiento de señales de audio	23
3.4.2	Lógica de control para el teclado	28
3.4.3	Nivel de audio	32
3.5	DISEÑO ELECTRÓNICO	37
3.6	DESCRIPCIÓN DE LOS CIRCUITOS IMPLEMENTADOS	38
3.6.1	Circuito para la grabación y reproducción de mensajes	38
3.6.2	Implementación electrónica del teclado	45
3.6.3	Amplificador de audio	46
3.7	FUENTE DE ALIMENTACIÓN	55
3.7.1	Selección de la batería recargable	56
3.8	REGULACIÓN DEL VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN	59
3.8.1	Principio de funcionamiento de un regulador de tensión	60
3.8.2	Tipos de reguladores	60
3.8.3	Clasificación de los reguladores conmutados	62
3.8.4	Selección de reguladores de voltaje	62
4.	CARGADOR DE BATERIAS	67
4.1	METODOS DE CARGA DE BATERÍAS	67
4.2	PROCESO DE CARGA PARA BATERÍAS LI-ION	68
4.3	ESPECIFICACIONES DE CARGA	69
4.4	SELECCIÓN DEL CIRCUITO INTEGRADO	69
4.5	CIRCUITO INTEGRADO LM3647	70
4.5.1	Proceso de carga	71
4.5.2	Funcionamiento del LM3647	72
4.5.3	Circuito implementado	84

5. ALGORITMOS DE CONTROL	86
5.1 MODULO SPI	86
5.1.1 Protocolo de comunicación del ISD4003	87
5.1.2 Registro de control del Puerto SPI	89
5.2 SECUENCIA DE PROGRAMACIÓN PARA LA OPERACIÓN DEL ISD4003	91
5.3 PROGRAMACIÓN	92
5.3.1 Configuración inicial	92
5.3.2 Modo en bajo consumo de potencia [STOP]	94
5.3.3 Interrupciones programadas	95
5.3.4 Envío de dirección de memoria	96
6 DISEÑO ESTRUCTURA EXTERNA	97
6.1 DISTRIBUCIÓN Y SELECCIÓN DEL VOCABULARIO	97
6.2 PARÁMETROS DE DISEÑO	99
6.3 DISEÑO DEL TECLADO	100
6.4 MATERIALES	101
CONCLUSIONES	102
BIBLIOGRAFÍA	104
ANEXOS	105

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tipos de ayudas técnicas	13
Tabla 2. Opciones de los sistemas de comunicación	15
Tabla 3. Resumen comparativo de las principales tecnologías de memorias	25
Tabla 4. Características de las baterías recargables más comúnmente usadas	58
Tabla 5. Ventajas y desventajas de los reguladores lineales	61
Tabla 6. Ventajas y desventajas de los reguladores conmutados	62
Tabla 7. Interfaz del usuario	85
Tabla 8. Registros de control de SPI	90
Tabla 9. Códigos de operación utilizados	91
Tabla 10. Características de cada bloque que conforma el comunicador.	111

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Bloques funcionales del entrenador auditivo	20
Figura 2. Sistema de almacenamiento de información analógica en memoria Digital	26
Figura 3. Implementación del teclado matricial	29
Figura 4. Diagrama de bloques para un amplificador clase D	35
Figura 5. Estructura interna del amplificador de audio MAX4295	37
Figura 6. Diagrama de bloques del entrenador auditivo	38
Figura 7. Estructura interna de la serie ISD4003	39
Figura 8. Ajuste de la señal de entrada proveniente de un sistema de audio	41
Figura 9. Modo de entrada no diferencial	41
Figura 10. Circuito de polarización del micrófono	42
Figura 11. Circuito para grabación y reproducción	44
Figura 12. Teclado matricial 5 x 6	45
Figura 13. Señal PWM	47
Figura 14. Etapa de salida amplificador clase D	47
Figura 15. Salidas PWM complementarias generadas por el puente H	48
Figura 16. Filtro pasaaltos	49
Figura 17. Etapa de amplificación a la entrada	50
Figura 18. Nivel de referencia	51
Figura 19 Filtro de salida	52
Figura 20 Circuito para amplificar la señal de audio	53
Figura 21. Eficiencia amplificador clase D versus potencia de salida	55

Figura 22. Diagrama de bloques básico de un regulador de tensión	60
Figura 23. Diagrama de bloques de un regulador lineal	60
Figura 24. Diagrama interno de un regulador conmutado	61
Figura 25. Regulador switchheado step – up	64
Figura 26. Regulador switchheado step – down	65
Figura 27. Curva típica del proceso de carga de baterías tipo Litio – Ion empleando técnicas de corriente constante y voltaje constante.	68
Figura 28. Diagrama de conexiones del LM3647	71
Figura 29. Proceso de carga del LM3647.	73
Figura 30. Fuente de corriente retroalimentada	74
Figura 31. Amplificador de diferencia	74
Figura 32. Filtro pasabajos de segundo orden	77
Figura 33. Filtro pasabajos implementado	77
Figura 34. Circuito para protección de excesos de corriente	78
Figura 35. Circuito de sensado de voltaje en la batería	79
Figura 36. Fuente de corriente	81
Figura 37. Sensor de temperatura	83
Figura 38. Circuito para carga de baterías	84
Figura 39. Bits de control del ISD4003	87
Figura 40. Bits de información del ISD4003	87
Figura 41. Ciclo de entrada	88
Figura 42. Proceso de transferencia de datos	88
Figura 43. Diagrama de flujo del algoritmo de control del entrenador auditivo	92
Figura 44. Distribución de teclas	100
Figura 45. Vista superior del prototipo final	106
Figura 46. Descripción de elementos externos del entrenador	108
Figura 47. Elementos externos del cargador de baterías	111

LISTA DE ANEXOS

	Pág
ANEXO A. MANUAL DEL USUARIO PARA EL FUNCIONAMIENTOS DEL ENTRENADOR AUDITIVO Y SU CARGADOR DE BATERÍA	105
A.1 ESPECIFICACIONES	106
A.2 PRECAUCIONES	107
A.3 APLICACIÓN	108
A.4 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	108
A.4.1 Entrenador auditivo	108
A.4.2 Cargador de baterías	111
A.5 OPERACIÓN BÁSICA	112
A.5.1 Entrenador auditivo	112
A.5.2 Carga de baterías	113

RESUMEN

TITULO: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ENTRENADOR AUDITIVO.*

AUTOR (ES): ANGÉLICA DUARTE MOYA
JERSON DAVID LINDAO ARGÜELLO**

PALABRAS CLAVES: Entrenador Auditivo, Parálisis Cerebral, Amplificador de Audio clase D, Microcontrolador, Circuito Grabador / Reproductor de voz.

DESCRIPCIÓN

La elaboración de ayudas electrónicas ha facilitado el desarrollo integral de personas con diversos tipos de discapacidades, este es el caso de los sistemas de comunicación empleados por aquellas cuyo nivel de habla es nulo o ininteligible. Dentro de estos sistemas figuran los entrenadores auditivos, tableros rígidos y didácticos conformados por una serie de botones que al ser pulsados activan el correspondiente archivo de voz previamente almacenado, emitiendo así voces y sonidos. Sin embargo cuando existen trastornos adicionales tales como deficiencia visual y carencia de coordinación motriz fina, falencias comunes en niños que presentan parálisis cerebral severa, los teclados convencionales dejan de ser elementos de apoyo, requiriéndose que éstos sean diseñados teniendo en cuenta parámetros adicionales como teclas grandes con colores, formas y relieves.

Por ello, el objetivo principal de este trabajo de grado fue diseñar y construir un sistema de comunicación a partir de un teclado portátil no convencional que genera patrones de sonidos y facilita la comunicación a un niño con parálisis cerebral.

El prototipo construido está conformado por 30 teclas distribuidas en 9 bloques, cada uno de los cuales ostenta un color fosforescente y una forma, adicionalmente cada pulsador posee un relieve en color blanco o negro que hace alusión al mensaje almacenado. La tarjeta electrónica está constituida básicamente por un circuito grabador / reproductor de voz cuyo modo de operación depende de un microcontrolador; un amplificador de audio clase D entrega la potencia acústica adecuada para lograr la atención y comunicación del paciente.

Este sistema, patrocinado por los autores, fue donado a Santiago Cárdenas un niño de 7 años que presenta parálisis cerebral severa, con el fin de contribuir a su rehabilitación y bienestar, incentivando de esta manera el aporte de la tecnología en el desarrollo de nuevas aplicaciones para el beneficio de la comunidad.

* Trabajo De Grado

** Facultad De Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. MPE. Jaime Guillermo Barrero Pérez.

SUMMARIZE

TITLE: DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AN AUDITORY TRAINER.*

AUTHOR (S): ANGÉLICA DUARTE MOYA
JERSON DAVID LINDAO ARGÜELLO**

KEY WORDS: Auditory Trainer, Cerebral Paralysis, Class D Audio Amplifier, Microcontroller, Voice Record / Playback Device.

DESCRIPTION

The production of electronic helps has facilitated the integral development of people with diverse types of disabilities; this is the case of the communication systems used by those whose speech level is null or unintelligible. Inside these systems appear auditory trainers, rigid and didactic boards conformed by a series of buttons which activate the corresponding previously stored voice file when being pressed, emitting voices and sounds. However when additional disorders exist such as visual deficiency and lack of fine motor skills, common deficiencies in children who present severe cerebral palsy, the conventional keyboards stop being support elements, being required that these are designed keeping bearing additional parameters in mind as big keys with colors, forms and relieves.

For it, the main objective of this degree project was to design and to build a communication system starting from a portable not conventional keyboard which generates sounds and facilitates the communication to a child with cerebral palsy.

The built prototype is conformed by 30 keys distributed in 9 blocks, each one of which shows a phosphorescent color and a form, additionally each button possesses a figure in white or black color that makes allusion to the stored message. The electronic card is basically constituted by a voice record / playback device whose operation depends on a microcontroller; a class D audio amplifier gives the appropriate acoustic power to achieve the patient's attention and communication.

This system, sponsored by the authors, was donated to Santiago Cárdenas a 7 year-old child who presents severe cerebral palsy, in order to contribute to his rehabilitation and well-being, motivating the contribution of technology in the development of new applications for the community benefit.

* Degree Project.

** Physics Mechanical Engineering Faculty. Electric, Electronic and Telecommunications School.
MPE. Jaime Guillermo Barrero Pérez.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de comunicación hasta ahora han desempeñado un papel fundamental en la convivencia del hombre, y despiertan tanta importancia hoy día que han permitido que se inviertan grandes cantidades de dinero y tiempo en desarrollar nuevos y eficientes sistemas o en mejorar los ya existentes. Esto ha provocado el crecimiento de nuevas industrias especializadas que desarrollan aplicaciones en áreas comerciales, militares, médicas, buscando siempre como objetivo común propiciar el fortalecimiento de la comunicación.

En específico, el desarrollo de nuevas tecnologías en el área de la salud ha permitido que muchas personas puedan satisfacer su necesidad básica de comunicación. Sin embargo, países con bajo desarrollo tecnológico - como el nuestro - no pueden ofrecer suficientes alternativas a personas que carecen de facultades comunicativas. En estos casos, se hace necesario importar los equipos requeridos dependiendo del tipo de dificultad en particular, elevando los costos y habilitándose esta posibilidad sólo para aquellas personas que cuentan con recursos suficientes para adquirirlos. Además, dada la tendencia de la industria a suplir requerimientos muy generales, en algunas situaciones las ayudas de comunicación disponibles en el mercado no satisfacen las necesidades de los pacientes en su totalidad, razón por la cuál no se cuentan con suficientes alternativas de elección. En estas condiciones, éstas no prestan mucha utilidad o en el peor de los casos ni siquiera pueden ser utilizadas.

Precisamente éste es el caso de los entrenadores auditivos, módulos diseñados para facilitar la comunicación a personas con deficiencias en el habla. Estos sistemas emiten sonidos que representan un deseo o necesidad dependiendo del pulsador seleccionado, éstos generalmente son elementos planos y difícilmente identificables cuando se cuenta con limitaciones visuales. Por ello, cuando existe discapacidad por lesión cerebral severa, que además de afectar el habla pueda perturbar en gran medida la coordinación motriz y el sistema visual, estos elementos de acceso no pueden ser manejados eficientemente, debilitando la autoestima del paciente y

obstaculizando el proceso de rehabilitación. Cuando esto sucede, es necesario añadir elementos adicionales al diseño de los entrenadores tales como relieves, figuras, colores llamativos, audífonos, entre otros.

Por tal motivo, la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones en búsqueda de un mejoramiento continuo, y en aras de contribuir al desarrollo y bienestar de la comunidad, se ha propuesto construir un comunicador más completo que los disponibles actualmente en el mercado dirigido especialmente a personas con baja coordinación motriz y deficiencia visual, que facilite no sólo la comunicación del paciente con su entorno sino también su desarrollo visual y auditivo.

Para ello se diseñó y construyó un comunicador no convencional tipo teclado que incluye pulsadores con colores en contraste, figuras y relieves que permiten asociar tales formas con la orden o sonido emitido, facilitando su uso y comprensión.

Este trabajo está constituido por 6 capítulos que resumen las etapas de diseño y construcción necesarias para la obtención del prototipo final.

El capítulo 1 presenta una breve descripción de los aspectos más importantes relacionados con la parálisis cerebral infantil, los cuales permitirán conocer las posibles capacidades, deficiencias y limitaciones de los usuarios potenciales.

El capítulo 2 hace referencia al área encargada de la búsqueda de soluciones para las diversas alteraciones de la comunicación: Comunicación Aumentativa y Alternativa. En él se describen los diferentes tipos de sistemas y ayudas técnicas existentes así como los aspectos y precauciones a tener en cuenta en el momento de su selección y diseño.

Las diversas actividades ejecutadas en el diseño y construcción del entrenador están registradas en el capítulo 3. Entre ellas se encuentran la determinación de los requerimientos, el diseño electrónico, la selección de los dispositivos, el análisis de las etapas electrónicas que lo conforman y su implementación. Como elemento complementario se construyó un cargador de baterías cuyo diseño se describe en el capítulo 4.

El capítulo 5 sintetiza los algoritmos desarrollados para el control del circuito grabador / reproductor de voz, el teclado matricial y los elementos auxiliares.

Posterior a la implementación del sistema electrónico se diseñó la estructura externa del equipo; las características finales de esta estructura se resumen en el capítulo 6.

1. PARÁLISIS CEREBRAL

Para comprender las particularidades del sistema de comunicación elaborado es fundamental conocer primero las características principales de las personas para las cuales éste fue diseñado. Por tal razón, este capítulo presenta una breve descripción de algunos aspectos relacionados con la parálisis cerebral infantil, necesarios para entender la realidad que afrontan los niños afectados por este trastorno, así como sus deficiencias y limitaciones.

1.1 DEFINICIÓN

Parálisis Cerebral es un término usado para describir un grupo de condiciones crónicas que afectan los movimientos del cuerpo y la coordinación muscular; es provocada por una lesión a nivel del sistema nervioso central contenido en la cavidad craneana (corteza cerebral, ganglios basales y / o cerebro), no evolutiva y que se produce en las etapas más importantes del desarrollo cerebral del niño, generalmente durante los últimos meses del embarazo o en los primeros 2 o 3 años de vida.

1.2 EFECTOS

La parálisis cerebral se caracteriza por la incapacidad de controlar completamente la función motriz, particularmente, el control y la coordinación musculares. No obstante, el daño cerebral no sólo puede afectar los aspectos motores, es frecuente encontrar una serie de trastornos asociados cuyo control resulta importante y de interés para el desarrollo integral de la persona.

Dependiendo de la parte del cerebro lesionada, se puede observar uno o más de los siguientes efectos:

- ❖ **Debilidad muscular o espasmos:** El daño en el cerebro puede producir pérdida de las funciones nerviosas, provocando tensión o flacidez muscular.
- ❖ **Percepción y sensibilidad anormal:** Algunos niños con parálisis cerebral tienen deficiencias en la capacidad para experimentar sensaciones simples como las del tacto o el dolor.
- ❖ **Visión y audición limitadas:** Las deficiencias visuales pueden ser agrupadas en trastornos de la movilidad, trastornos de la agudeza y campo visual y funcionamiento no adecuado de la parte del cerebro responsable de la interpretación de las imágenes.

El deterioro del oído también es frecuente y puede ir desde una pérdida parcial hasta total de la audición.

- ❖ **Convulsiones o epilepsia:** Durante una convulsión, el modo normal y ordenado de la actividad eléctrica en el cerebro se interrumpe por estallidos incontrolables de electricidad. Cuando las convulsiones resurgen sin causa directa, tal como tener fiebre, la condición se llama epilepsia.
- ❖ **Capacidad intelectual¹:** Aproximadamente un tercio de los niños con parálisis cerebral tienen una limitación intelectual leve, un tercio presenta incapacidad moderada o grave y el tercio restante es intelectualmente normal.
- ❖ **Aprendizaje:** Frecuentemente se asume que aquellas personas que no pueden controlar muy bien sus movimientos o no pueden hablar adecuadamente presentan deficiencia mental lo cual no es cierto. Algunas personas con parálisis cerebral tienen problemas de aprendizaje, pero esto no es una generalidad.
- ❖ **Trastornos de la atención:** En algunos casos se observa dificultad en mantener la atención con tendencia a la distracción y a reacciones exageradas ante estímulos insignificantes.

¹ PUYUELO, Sanclemente. Logopedia y parálisis cerebral infantil. Barcelona, 1982. P. 211.

- ❖ **Comunicación y lenguaje:** La capacidad de comunicarse de un niño afectado por parálisis cerebral depende fundamentalmente de su desarrollo intelectual y capacidad de manejar las diversas formas de expresión: la mímica y los gestos están basados en movimientos finamente coordinados y el habla depende de la habilidad para controlar los músculos de la boca, la lengua, el paladar y la cavidad bucal; por ello, un alto porcentaje de la población infantil afectada por parálisis cerebral presenta alteraciones en la comunicación.

Sus habilidades y posibilidades comunicativas, así como su oportunidad de intervenir funcionalmente en su ambiente y modificarlo en función de sus necesidades, están muy disminuidas por su discapacidad motriz y por el impacto que todo esto produce en el medio, haciéndose más difícil la interacción entre el niño y su familia, sus padres y terapeutas.

1.3 CLASIFICACIÓN

Dependiendo del criterio seleccionado existen diversas formas de clasificar la parálisis cerebral.

1.3.1 Según el grado de afectación. La parálisis cerebral puede ser leve, moderada, o severa:

- **Parálisis cerebral leve** puede significar que el niño es torpe.
- **Parálisis cerebral moderada** significa que el niño camina cojeando y por ello podría necesitar un aparato ortopédico, silla de ruedas u otro equipo especial.
- **Parálisis cerebral severa** puede afectar todos los aspectos de las habilidades físicas del niño.

1.3.2 Según la extensión del daño. Dependiendo de la parte del cuerpo afectada existen diversos grupos. El sufijo "plejia" significa ausencia de movimiento mientras que el sufijo "paresia" implica que existe algún tipo de movilidad.

- **Cuadriplejia o cuadriparesia:** Están afectados los cuatro miembros.
- **Tetraplejia o tetraparesia:** Afectación global incluyendo tronco y las cuatro extremidades.
- **Triplejia o triparesia:** Afectación de las extremidades inferiores y una superior.
- **Diplejia o diparesia:** Afectación de las cuatro extremidades con predominio de las extremidades inferiores.
- **Hemiplejia o hemiparesia:** Se encuentra afectado uno de los dos lados del cuerpo.
- **Paraplejia o Paraparesia:** Afectación de los miembros inferiores.
- **Monoplejia o monoparesia:** Se encuentra afectado un sólo miembro.

1.3.3 Según el tipo de perturbación en el movimiento. Los médicos clasifican la parálisis cerebral en cuatro amplias categorías: la espástica, atetosis, ataxia y formas combinadas.

- ❖ **Espástica:** Es una condición en la cual los músculos están rígidos y contraídos permanentemente. Su principal característica es el aumento exagerado del tono muscular, por lo que se producen movimientos exagerados y poco coordinados.

Estas características dificultan el proceso de habla ya que los músculos que intervienen para la producción de la misma se encuentran alterados; en casos severos no es posible hablar.

Algunas características a nivel del habla de estos niños son:

- Articulación lenta, haciéndose difícil la diferenciación entre las palabras.
 - Se presenta voz monótona, es decir, sin entonación con palabras y sílabas entrecortadas.
 - Lengua con poca movilidad.
- ❖ **Atetósica:** Esta forma de parálisis cerebral típicamente involucra lentos movimientos involuntarios y un bajo tono muscular que dificulta el sentarse en forma derecha y caminar.

Los cambios de tono en los músculos y los movimientos involuntarios afectan los músculos faciales, la respiración y la voz. La incapacidad de coordinar el movimiento puede llevar a presentar desde leves problemas de articulación hasta incapacidad total para hablar.

- ❖ **Atáxica.** Esta forma afecta la coordinación y el equilibrio, no se consigue medir la fuerza ni la dirección de los movimientos.

La dificultad para realizar movimientos finos hace difícil la correcta pronunciación, acompañada de una voz débil y monótona, con temblor en las cuerdas vocales que produce una articulación deficiente.

- ❖ **Mixta.** Manifiesta diferentes características de los anteriores tipos. La combinación más frecuente es la de espasticidad y movimientos atetoides.

1.4 TRATAMIENTO EN EL ÁMBITO DEL LENGUAJE

Debido a las alteraciones en el habla que presentan los pacientes con parálisis cerebral, es necesario realizar un tratamiento a nivel fonoaudiológico que facilite los movimientos de los órganos fonoarticulatorios hasta que en forma progresiva se llegue a la emisión de palabras sencillas. Cuando estos tratamientos no arrojan resultados positivos se hace necesaria la búsqueda de otras formas alternas de comunicación.

2. COMUNICACIÓN AUMENTATIVA Y ALTERNATIVA

Un alto porcentaje de la población infantil afectada por parálisis cerebral presenta alteraciones en la comunicación, bien por ausencia de habla o por ininteligibilidad de la misma, asociadas generalmente a graves dificultades en el ámbito de la motricidad. Por ello, este capítulo hace referencia al área encargada de la búsqueda de soluciones para esta dificultad.

Inicialmente se sintetizan conceptos básicos de la comunicación aumentativa y alternativa, se describen los diferentes tipos de sistemas y ayudas técnicas, se mencionan los aspectos y cuidados a tener en cuenta en el momento de su selección y diseño, por último se describe el sistema de comunicación que se desarrolló en este proyecto.

2.1 CONCEPTO

La comunicación aumentativa y alternativa es una nueva perspectiva de trabajo interdisciplinario de la comunicación y del lenguaje que se interesa en aportar soluciones para que las personas que no pueden hablar, en razón de una determinada deficiencia, logren hacerlo a través de otras formas y medios distintos a como lo hace el común de los hombres. Tiene fundamento teórico proveniente de distintas áreas del saber como la Lingüística, la Comunicación, la Psicología, la Pedagogía, la Ingeniería Electrónica e Informática, ya que su interés es aportar soluciones eficaces que permitan aumentar el habla o sustituirla cuando la persona no puede desarrollarla o no es entendible.

La comunicación aumentativa incluye elementos teóricos, sistemas de signos, aplicación de las nuevas tecnologías electrónicas e informáticas, estrategias y técnicas de intervención. La filosofía que subyace a su uso es brindar de manera permanente

un medio que le permita al sujeto comunicarse de forma efectiva en todos los momentos y circunstancias de la vida.

La **comunicación alternativa** hace referencia a todo tipo de comunicación distinta del habla que es empleada en el contacto directo entre los interlocutores, mientras que **comunicación aumentativa** significa comunicación de ayuda y tiene como finalidad estimular y apoyar en la persona con problemas de habla el deseo de interactuar.

2.2 OBJETIVOS

La Comunicación Aumentativa y Alternativa tiene tres objetivos generales dependiendo de la situación del usuario (Lloyd, 1985)²:

- Proporcionar un medio temporal de comunicación hasta que se restablezca de forma adecuada el habla.
- Aportar un medio de comunicación a largo plazo, cuando la adquisición del habla es totalmente imposible de lograr.
- Servir como medio de apoyo para el desarrollo del habla y en algunos casos, de las habilidades cognitivas y comunicativas necesarias para la consecución del lenguaje.

2.3 TIPOS DE SISTEMAS

La comunicación aumentativa y alternativa puede, en algunos casos, requerir de ayudas. Este acompañamiento o no de ayuda produce dos sendos de sistemas.

Los **sistemas sin ayuda** hacen referencia a los gestos de uso común, a los gestos idiosincrásicos, a los códigos gestuales o al lenguaje de signos manuales, razón por la cual la persona no necesita instrumentos, ella solo utiliza el propio cuerpo para comunicarse. No son aplicables a niños que presentan compromiso motor grave como es el caso de aquellos afectados de parálisis cerebral.

² SALAZAR, Nahir de, COMUNICACIÓN AUMENTATIVA Y ALTERNATIVA, Primera Edición, Universidad Pedagógica Nacional, 2000.

La característica fundamental de los **sistemas sin ayuda** es que la persona se ve inducida a producir sus propias expresiones, es decir, debe crear distintas formas que le permitan comunicar un deseo, una necesidad o un sentimiento y por ello en algunos casos serán poco significativos para aquellos que no se encuentren en permanente contacto con él.

Un **sistema con ayuda** se elige cuando la persona requiere instrumentos, distintos al mismo cuerpo, que le sirvan de soporte para poder comunicarse. Ella debe señalar o seleccionar, de un sistema externo, algún objeto con el cual expresará su deseo o necesidad. Los **sistemas con ayuda** pueden agruparse en varias categorías: sistemas de comunicación con objetos, con imágenes, a través de signos gráficos, sistemas combinados y sistemas mediante lenguajes codificados. Estos sistemas van acompañados de materiales como papel, tableros de comunicación hasta dispositivos electrónicos e informáticos.

La elección de uno de los tipos de sistemas anteriores depende tanto del grado de dificultad comunicativa como de las posibilidades de movilidad, manipulación y postura (especialmente en niños con parálisis cerebral), además, es necesario el análisis de las capacidades sensoriales, como visión y audición y el nivel cognitivo del usuario.

Gracias a los avances tecnológicos aplicados en los diferentes sistemas de comunicación se ha mejorado la calidad de vida del individuo, buscando que éste se desenvuelva con la mayor independencia posible.

2.4 AYUDAS TÉCNICAS

Estas ayudas están referidas a los elementos, instrumentos, aparatos, utensilios, adaptaciones y dispositivos de alta o baja tecnología que puedan ser utilizados para facilitar y proporcionar a los usuarios con limitaciones mayores posibilidades en alguna de las dimensiones comunicativas, de movilidad o de orientación y de control del entorno.

En general, las ayudas técnicas que se utilicen para alguno de los propósitos anteriores deben atender algunos aspectos básicos:

- Mejorar la calidad de vida cotidiana del usuario al proporcionar medios de desplazamiento o posición y controles para circunstancias de su entorno.
- Estar adaptado a las funcionalidades y posibilidades del mismo.
- Prestar funciones básicas comunicativas.
- Ser resistentes y portátiles.
- Permitir la comunicación con todo tipo de interlocutores.
- Ser efectivo.
- Aceptable y motivador para el sujeto y los demás.
- Asequible, costos razonables para su adquisición, mantenimiento y entrenamiento.

Centrados en las ayudas técnicas para la comunicación es posible clasificarlas³ de acuerdo con sus características técnicas:

- ❖ **Básicas:** Elaborados en material sencillo, de baja tecnología y bajo costo, de fácil elaboración y se adaptan a las necesidades de cada usuario; por ejemplo, tableros, tarjetas y libretas.
- ❖ **Mecánicas y eléctricas:** De accionamiento y manejo muy simples pero con un mecanismo que ofrece mayor rapidez y precisión en la elaboración del mensaje; por ejemplo, máquinas de escribir.
- ❖ **Electrónicas:** Permiten una mayor autonomía, tiene mayor capacidad para operar en el tratamiento del mensaje y ofrecen variedad en la salida del mismo, en pantalla, en texto o en sonido.

Estas producciones tecnológicas pueden aplicarse de modos diferentes, ya sean por ***selección directa*** o por ***exploración automática o dirigida***.

³ SALAZAR, Nahir de, LARA, Gabriel, GUIDO, Sandra, OBANDO, Lucila y TORO, Irma. Comunicación Aumentativa y Alternativa, Santa Fe de Bogotá, D.C., Colombia, Universidad Pedagógica Nacional, 2000, P. 120.

Una ayuda técnica se maneja por **selección directa** cuando en el material el usuario señala directamente lo que quiere expresar, como es el caso de libretas, tarjetas y fichas.

Las ayudas técnicas que se manejan por **exploración** pueden tener algunas de las siguientes características:

- ❖ **Automática:** Cuando un indicador hace un barrido automático por todas las opciones ofrecidas en el material y el usuario detiene el recorrido a través de algún medio, cuando el indicador está sobre el lugar correspondiente a su necesidad.
- ❖ **Dirigida:** Se da cuando el usuario puede activar algún dispositivo o zona de la ayuda técnica de que dispone para señalar su expresión comunicativa.

A continuación se presenta un cuadro resumen⁴ de distintos tipos de ayudas técnicas, su forma de acceso, de selección, de salida del mensaje y su utilidad para la comunicación del usuario.

SISTEMA	ACCESO	INDICACIÓN	SALIDA	UTILIDAD
Tableros de comunicación	<ul style="list-style-type: none"> • Manual • Varillas de señalar • Haz de luz • Mirada 	<ul style="list-style-type: none"> • Selección directa • Exploración o barrido • Codificación mixta 	Visual directa	Posibilidad de comunicación
Máquinas de escribir	<ul style="list-style-type: none"> • Manual • Punteros 	Selección directa	Texto impreso	Rapidez de la comunicación
Comunicadores eléctricos	Adaptaciones - Mecánicas - Eléctricas	Selección directa	Visual directa	Rapidez de la comunicación
Máquinas de escribir electrónicas	Manual	Selección directa	Texto impreso	Autonomía
Comunicadores y computadores	Conmutadores - Acción mecánica - Fotoeléctrica - Neumática	<ul style="list-style-type: none"> • Exploración o barrido • Codificación mixta 	<ul style="list-style-type: none"> • Indicador luminoso • Pantalla • Memoria • Voz sintetizada 	Autonomía y distinto tratamiento de texto

Tabla 1. Tipos de ayudas técnicas.

⁴ BASIL, Carmen, PUI, Ramón. Comunicación aumentativa. Curso sobre sistemas de ayudas técnicas de comunicación no vocal. Ministerio de Trabajo y Seguridad Social. Madrid. España 1988.

2.5 ELECCIÓN Y ADECUACIÓN DE UNA AYUDA TÉCNICA

Antes de seleccionar o diseñar una ayuda técnica, se debe considerar sistemáticamente una gran cantidad de factores.

Las fases que conforman la toma de decisiones por un sistema de comunicación aumentativo alternativo son generalmente las siguientes⁵:

❖ **Valoración inicial del nivel de competencia del niño en las áreas implicadas en la comunicación y determinación de las necesidades que presenta.**

En el caso de los niños con parálisis cerebral, esta evaluación se debe basar fundamentalmente en el nivel de competencias comunicativas (habilidades cognitivas, lenguaje comprensivo, lenguaje expresivo, intención comunicativa, lecto – escritura) y en una valoración de la motricidad general (control de la cabeza, movilidad y control de las extremidades, dominancia lateral, etc.).

❖ **Elección del sistema de comunicación y de los elementos de acceso más adecuados a su nivel de competencia y necesidades.**

En la actualidad, podemos encontrar múltiples ayudas técnicas y elementos de acceso adaptados que son susceptibles de ser utilizados por niños con parálisis cerebral, dependiendo de la sintomatología que presenten en las distintas áreas.

La tabla 2 presenta un resume de las diferentes opciones o alternativas en el momento de la elaboración de una ayuda técnica.

⁵ Ponencia presentada en las *"I Jornadas Aragonesas sobre Sistemas Aumentativos y Ayudas Técnicas para la Comunicación"*, José Manuel Marcos Rodrigo, Profesor del C.P.E.E. "Alborada". Zaragoza

TIPO DE COMUNICACIÓN	Alternativa /Aumentativa
ELEMENTOS	Signos tangibles / Signos pictográficos / Lecto - escritura Voz digitalizada / Voz sintetizada Intervención logopédica*
AYUDAS TÉCNICAS	Tableros / cuadernos de comunicación Comunicadores Software informático Tableros de comunicación adaptados para el ordenador mediante herramientas de autor tipo Clic
ELEMENTOS DE ACCESO	Pulsadores / Emuladores / Software de accesibilidad / Brazos articulados / Sillas adaptadas

Tabla 2. Opciones de los sistemas de comunicación.

❖ **Selección del vocabulario inicial.**

El vocabulario inicial seleccionado debe partir de los deseos y necesidades básicas del niño en el momento actual, utilizando elementos que resulten muy familiares y motivadores para él. Una clave del éxito consiste en asegurarse que el niño pueda reconocer y utilizar adecuadamente los primeros signos introducidos. Posteriormente, se incorporará nuevo vocabulario en función de los resultados obtenidos y de sus necesidades comunicativas.

❖ **Ajuste y entrenamiento en el uso del sistema de comunicación elegido.**

❖ **Seguimiento y evaluación de los resultados con la finalidad de dar continuidad al sistema elegido o a su posible modificación.**

Es fundamental que la implantación de un sistema de comunicación se realice de forma progresiva, realizando los ajustes oportunos a las habilidades que presenta el

* Logopedia: Técnica terapéutica que tiene como función la corrección del lenguaje en los niños deficientes psíquicamente, o desde el punto de vista motor.

sujeto, evitando situaciones de fracaso, que puedan conducirle a un rechazo del sistema.

- ❖ **Generalización del sistema a su entorno habitual.**

2.6 SELECCIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN

La finalidad de este proyecto es realizar un aporte tecnológico a la comunicación aumentativa y alternativa en personas que presentan parálisis cerebral severa, especialmente aquellas con limitaciones en su sistema visual y en su capacidad de comunicación. Para ello, se ha diseñado e implementado un sistema de ayuda electrónica, basado en parámetros de diseño adicionales para que el sistema no sólo permita la comunicación con el entorno y sea de fácil manejo y adaptación, sino que además, estimule el desarrollo visual y auditivo del paciente.

La ayuda técnica seleccionada es un tablero de comunicación con emisión de voz digital y cuyos elementos de acceso para la manipulación de los mensajes son 30 pulsadores manejados por exploración dirigida. El diseño de los pulsadores incluye colores, figuras y relieves, que permite una clara distinción entre teclas y asociar tales formas con la orden o sonido emitido.

Entre las principales ventajas ofrecidas por este comunicador se encuentran:

- Especialmente indicado para personas que necesitan de un medio comunicativo concreto y limitado para resolver necesidades básicas puntuales.
- El fácil manejo de los elementos de acceso permite que puedan ser utilizados por personas con diferentes grados de discapacidad.
- Entrenamiento en su uso es muy sencillo.
- Fácilmente transportable, tamaño y peso moderados.
- Relativamente económico comparado con otros comunicadores.
- Fácil ajuste de mensajes.

Ahora bien, el uso de pulsadores especiales como los utilizados en este comunicador ofrece ventajas adicionales:

- La indicación directa, un pulsador para cada mensaje, permite que éstos se distribuyan de tal forma que los más importantes se puedan colocar en el área de más fácil acceso por parte del usuario.
- Su diseño, empleando relieves y colores, los hace adecuados para personas que tienen problemas visuales.

3. HARDWARE DEL ENTRENADOR AUDITIVO

Para el óptimo diseño e implementación de un sistema electrónico es necesario seguir una secuencia de pasos que permitan obtener un sistema funcional, eficiente y robusto.

Este capítulo resume las actividades que se llevaron a cabo para el diseño y construcción del entrenador auditivo. Entre estas etapas de trabajo se encuentran la determinación de los requerimientos, la selección de los dispositivos empleados, el diseño electrónico, el análisis de cada una de las etapas electrónicas que lo conforman y finalmente su implementación.

3.1 PARÁMETROS DE DISEÑO

El entrenador auditivo debe servir de enlace entre un niño afectado por parálisis cerebral, cuya capacidad de habla es totalmente nula, y su entorno; adicionalmente, al tratarse de un prototipo debe permitir ser utilizado como herramienta inicial en la rehabilitación logopédica del niño.

La emisión de sonidos y voces es la solución más adecuada para el primer requerimiento dado que compensa la falencia de habla y sobretodo, permite establecer comunicación no sólo con aquellos que pueden establecer contacto visual directo con el niño, sino también con los que se encuentren a una distancia razonable, lo cual le dará mayor utilidad al equipo y facilitará el cuidado y atención del menor.

Con base en la segunda condición, el sistema debe poseer características que le permitan ser empleado como el primer sistema de comunicación de un niño. Por esta razón, la mejor opción es un dispositivo didáctico y de fácil manejo y comprensión, conformado por diversas casillas, que al ser pulsada cada una active el archivo de sonido correspondiente previamente grabado, emitiéndose así según el pulsador

seleccionado el mensaje deseado. El vocabulario inicial que se anexa al sistema debe ser básico y contener las necesidades y actividades más cotidianas.

Al mismo tiempo el sistema debe ser flexible, es decir, a medida que el proceso de adaptación avance, la actualización y cambio del vocabulario o mensajes debe ser fácilmente realizable.

El teclado del comunicador debe ser transparente*, de tal forma que pueda ser empleado por otros para establecer comunicación con el niño. Además, teniendo en cuenta las limitaciones motrices de los infantes, los pulsadores deben ser distribuidos eficientemente en el tablero y del tamaño adecuado para facilitar su localización y pulsación.

La mayoría de los niños con parálisis cerebral presentan trastornos en la visión, por lo que un diseño de las teclas en colores fosforescentes facilita su discriminación y ubicación, sirviendo además como estímulo visual. El manejo de relieves que permitan diferenciar los pulsadores mediante el tacto aumenta la certeza en la elección.

En el proceso de adaptación del sistema de comunicación al usuario es indispensable captar la mayor atención de éste, para ello el uso de audífonos como elemento alternativo es lo más conveniente.

3.2 DESCRIPCIÓN GENERAL

La ayuda técnica seleccionada es un entrenador auditivo cuyos elementos de acceso son 30 pulsadores manejados por exploración dirigida y su medio de salida es la emisión de sonidos y voces ya sea por un parlante o audífonos.

* El termino transparencia implica comprensibilidad por todas las personas que están en contacto con el niño discapacitado.

3.3 BLOQUES FUNCIONALES

Con base a los requerimientos del tablero de comunicación se diseñó un sistema constituido básicamente por los siguientes bloques: teclado, cerebro electrónico y salida de audio.

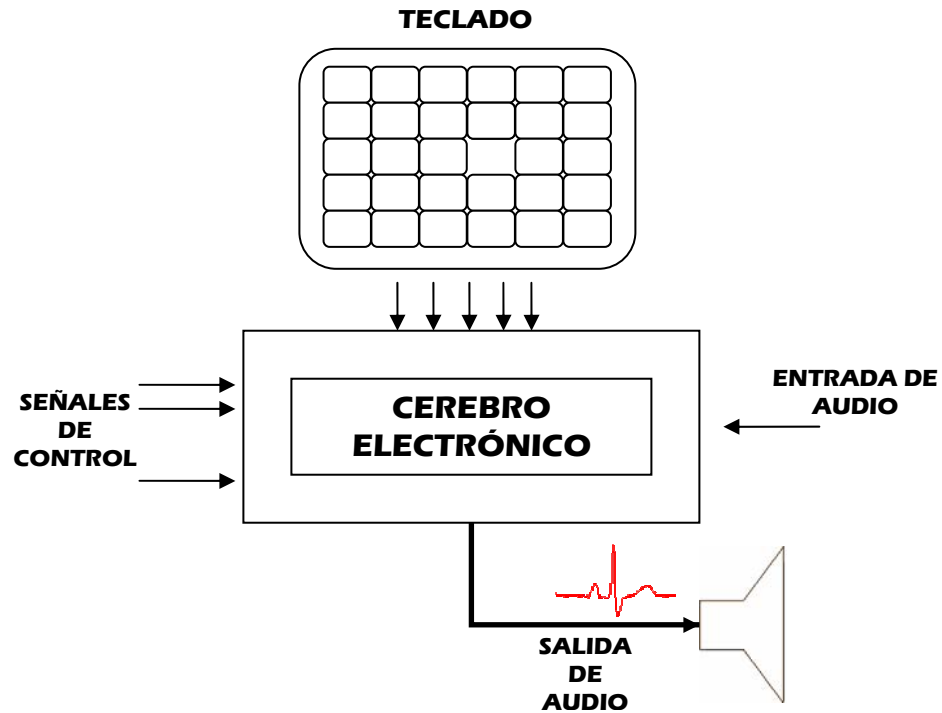


Figura 1. Bloques funcionales del entrenador auditivo.

A continuación se realiza una detallada descripción de los bloques funcionales.

3.3.1 Teclado. Este elemento se encuentra en contacto permanente con el paciente, por lo tanto, debe exhibir las siguientes características:

- ❖ **Resistencia mecánica:** El teclado debe ser totalmente rígido para que pueda soportar la constante pulsación de sus teclas y evitar daños en caso de golpes o caídas.
- ❖ **Teclas Grandes:** Debido a que la mayoría de pacientes que padecen de parálisis cerebral severa presentan problemas en su motricidad fina, se deben emplear

elementos de manipulación relativamente grandes para facilitar su contacto. Al mismo tiempo, las teclas deben estar separadas lo suficiente para reducir el riesgo de intersección.

- ❖ **Tamaño adecuado:** Se debe acondicionar el número y tamaño de teclas para evitar que el tablero se salga del campo de trabajo del paciente.
- ❖ **Empleo de relieves y formas:** Es la característica más importante que exhibe el teclado dado que permite al paciente asociar la forma o relieve particular con el sonido emitido, en consecuencia, se dispondrían de dos variables de reconocimiento.
- ❖ **Uso de colores fosforescentes:** El empleo de colores llamativos diferentes entre teclas contiguas facilita su distinción por parte del paciente. Aún más, emplear teclas de colores fosforescentes con relieves o figuras oscuras (**discriminación visual**) permite la recuperación y refuerzo de la capacidad de observación y reconocimiento. Esta técnica está sustentada en ejercicios de rehabilitación en pacientes que aún poseen residuo visual –condición frecuente cuando se presenta parálisis cerebral severa-.

3.3.2 Cerebro Electrónico. Es el eje central del tablero de comunicación por ser el encargado de controlar cualquier evento del que se quiera disponer. Las principales funciones del cerebro electrónico son:

- ❖ **Almacenamiento de señales de audio**

El tablero de comunicación capta y almacena señales de audio, ya sea voz, música, o sonidos del medio ambiente. Para lograr esto se acondicionaron dos tipos de entradas diferentes:

- Micrófono (MIC): Permite el ingreso de señales de voz o en general de cualquier sonido proveniente de un altavoz.

- Entrada Auxiliar (AUX): Permite el ingreso de señales de audio provenientes de cualquier sistema reproductor a través de un cable estereofónico.

Por ser un prototipo diseñado para que el paciente se familiarice con esta clase de tablero de comunicación, se hace necesario disponer de un sistema que permita sobrescribir los archivos de sonido previamente almacenados. Esto posibilita la readecuación del sistema a corto o largo plazo dependiendo de la respuesta y adaptación del paciente.

❖ **Reproducción de señales de audio**

Es el principal proceso que se ejecuta en el tablero de comunicación. El sistema reproduce un sonido previamente almacenado cada vez que se presiona una tecla y debe ser capaz de finalizarlo automáticamente sin intervención alguna.

❖ **Enlazar la tecla presionada con el sonido asociado**

El cerebro electrónico debe identificar la tecla presionada y emitir el sonido correspondiente. La edición de cualquier sonido no debe afectar este proceso.

❖ **Proporcionar el nivel de volumen adecuado**

Se debe suministrar la potencia de audio suficiente para el total reconocimiento de los sonidos por parte del paciente y de las personas a cargo de su cuidado. Asimismo, en el proceso de familiarización con el teclado se debe procurar al máximo la concentración del paciente, por tal motivo se añade la posibilidad de emplear **audífonos** que enfoquen más el sonido.

3.4 SELECCIÓN DE LOS DISPOSITIVOS QUE CONFORMAN EL SISTEMA ELECTRÓNICO

En la selección de dispositivos se tuvieron en cuenta parámetros como eficiencia, costos, durabilidad y seguridad.

3.4.1 Almacenamiento de señales de audio. Al hablar de almacenamiento de señales de audio se pueden considerar fundamentalmente dos alternativas distintas.

- ❖ **Almacenamiento Magnético:** Se trata del uso de medios magnéticos para lograr la captura de señales analógicas de audio por medio de un mecanismo que polarice o direcciona las partículas magnéticas de una cinta dependiendo de las características que presente la señal. Sin embargo, este mecanismo ofrece poca fiabilidad y el desarrollo de mejores técnicas lo han convertido en obsoleto.
- ❖ **Almacenamiento Digital:** Este tipo de almacenamiento ofrece alta fiabilidad dado que se logra reproducir de manera casi exacta la señal de audio grabada. Esto se logra tomando valores o muestras de la señal -mediante muestreo y retención- periódicamente, representándolos como una secuencia binaria -digitalización- y finalmente se almacenan.

Hasta el momento se han desarrollado numerosos sistemas capaces de almacenar o memorizar una información digital. Todos ellos, persiguen como objetivo conseguir:

- *Alta velocidad*
- *Bajo precio*
- *Gran capacidad de almacenamiento*
- *Bajo consumo*

Cada uno de estos objetivos se puede lograr en mayor o menor medida dependiendo del medio físico empleado, la organización, tecnología, entre otros.

● TIPO DE MEMORIAS DE ALMACENAMIENTO DIGITAL

❖ Memoria RAM

Es llamada memoria de acceso aleatorio (*Random Access Memory*) debido a su característica de acceso instantáneo a cualquier parte de ella, gracias a un sistema de

direcciones (no es acceso secuencial) que permite la lectura o escritura. Cuando se escriben los datos en una determinada dirección de la RAM, los datos almacenados previamente son reemplazados por la nueva unidad de datos. Cuando una unidad de datos se lee de una determinada dirección de la RAM, los datos de esa dirección permanecen almacenados y no son destruidos por la operación de lectura.

Desventaja: La principal desventaja de este tipo de memoria es que el almacenamiento de datos es a corto plazo, ya que no puede conservarlos cuando se desconecta la alimentación (volátil). No es un tipo de memoria útil para este sistema.

❖ **Memoria ROM** (*Read Only Memory*)

Es una memoria de sólo lectura. Mantiene de forma permanente o semipermanente los datos almacenados, que pueden ser leídos, pero, o no se pueden cambiar en lo absoluto o se requiere un equipo especial para ello.

❖ **Memoria PROM**

Es un tipo de memoria ROM programable mediante un dispositivo especial. Una vez almacenada la información, no se puede alterar.

Desventaja: La programación de este tipo de memorias ocurre una sola vez e implica un proceso costoso. De esta manera quedaría deshabilitada la posibilidad de editar la información almacenada.

❖ **Memoria EPROM** (*erasable PROM*):

Se trata de una PROM en la que se puede borrar la información almacenada. Se puede reprogramar si antes se borra la información existente en la matriz de memoria. Existen dos tipos fundamentales de memorias PROM borrables:

- **UV EPROM:** Memorias PROM borrables mediante la exposición del chip de la matriz de memoria a una radiación ultravioleta de alta densidad, a través de la ventana de cuarzo en la parte superior del encapsulado.

Desventaja: Se necesita extraer y exponer el dispositivo a rayos ultravioleta durante varios minutos para borrar el contenido y adicionalmente un grabador especial para introducir nuevos datos.

- **EEPROM:** Memorias PROM borrables eléctricamente. Se pueden borrar y programar mediante impulsos eléctricos. Se pueden reprogramar dentro del propio circuito final, lo que permite reconfigurar cualquier sistema.

Desventaja: No posee alta densidad, por lo que el costo por bit es mayor que en las demás tecnologías.

❖ Memoria FLASH

Las memorias flash son memorias de **lectura / escritura** de **alta densidad** (mayor almacenamiento de bits en un chip de tamaño determinado) **no volátiles**, permitiendo **almacenar datos a largo plazo** en ausencia de alimentación. Típicamente el **consumo de potencia** de este tipo de memorias es reducido.

En la tabla 3 se presenta un resumen comparativo de las principales tecnologías de memorias.

Tipo de memoria	Volátil	Alta densidad	Celda con un solo transistor	Reescribible en el sistema final
FLASH	No	Sí	Sí	Sí
ROM	No	Sí	Sí	No
EPROM	No	Sí	Sí	No
EEPROM	No	No	No	Sí

Tabla 3. Resumen comparativo de las principales tecnologías de memorias.

Las características de las memorias flash se ajustan a los requerimientos del diseño, por lo tanto, son las más adecuadas para el almacenamiento y reproducción de las señales de audio. Sin embargo, para lograr la completa integración de la información se deben considerar elementos adicionales tales como conversores

analógicos / digitales, digitales / analógicos, etapas de filtrado, entre otros. El sistema de almacenamiento de la información analógica en memoria digital se puede representar en el siguiente gráfico:

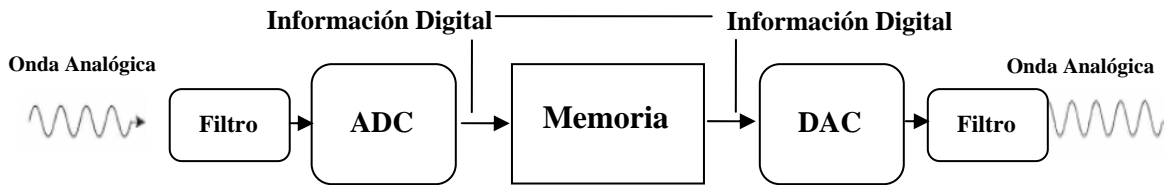


Figura 2. Sistema de almacenamiento de información analógica en memoria digital.

● CIRCUITOS INTEGRADOS

A nivel de circuito integrado es posible encontrar memorias flash con tecnología CMOS hasta de 8 Gbit de capacidad, alta velocidad de escritura y con bajo consumo de potencia. Se consideran una buena alternativa de almacenamiento de información digital.

Por otro lado, se encuentran los dispositivos que graban –a largo plazo- y reproducen señales de audio directamente sin la necesidad de emplear conversores, en un solo chip. Es decir, condensan la memoria flash, donde se almacenan los valores digitales que se obtienen a partir de un conversor analógico / digital, así como también la lógica necesaria para el direccionamiento de los datos almacenados, y finalmente el conversor digital / analógico para recuperar la información de audio. De esta manera se cuenta con una excelente alternativa para aplicaciones que requieran conservar voz, o en general cualquier sonido.

● SELECCIÓN DEL CIRCUITO INTEGRADO

Basados en las altas prestaciones que ofrecen los chips grabadores de voz, se decidió utilizar el integrado ISD4003-8M de *Winbond Electronics*, con capacidad de almacenamiento de voz de 8 minutos. Su elección se hizo gracias a las excelentes

características que posee en comparación con otros dispositivos de almacenamiento de voz, dentro de las cuáles se encuentran:

- Alta calidad de grabación / reproducción.
- Basado en tecnología CMOS, lo cuál minimiza el tamaño del dispositivo.
- Bajo consumo de potencia, factor clave en sistemas portátiles.
- Almacenamiento de mensajes en chips de memoria flash:
 - ◆ Retención de mensajes por aproximadamente 100 años sin consumo de potencia.
 - ◆ Edición de mensajes por más de 100000 veces.

La duración de grabación se seleccionó considerando un total de 30 teclas con duración de 15 segundos promedio. Con esto se logra un amplio rango de grabación por tecla y al mismo tiempo se facilita una libre asignación.

● **CIRCUITO PARA LA GRABACIÓN Y REPRODUCCIÓN DE MENSAJES ISD4003-8M**

Winbond Electronics elabora circuitos integrados grabadores / reproductores de voz de alta calidad y con una amplia variedad en cuanto a capacidad de almacenamiento. En específico, el ISD4003-8M emplea la tecnología actual necesaria para grabar y reproducir mensajes de alta calidad. Una vez grabados los mensajes, éstos se pueden reproducir tantas veces se desee sin ningún desajuste mecánico o deterioro de su calidad.

❖ **Descripción general**

El dispositivo central utilizado para el almacenamiento de información es el ISD4003-8M, constituido por una serie de circuitos *Chip Corder* que da una alta calidad en el grabado y reproducción de voz y sonido. El dispositivo CMOS incluye un chip oscilador, filtro antialiasing, filtro suavizador, AutoSilencio, amplificador de audio y

arreglo de **memoria flash multinivel (MLC)*** de alta densidad para el almacenamiento de información. El control y programación de estos dispositivos se hace ya sea *vía serial* o *paralela*, dependiendo de la duración del dispositivo. En específico, la serie ISD4003 emplea comunicación serial para minimizar el número de pines, bajo el control de la interfaz serial síncrona (SPI) de un microcontrolador.

La tecnología CMOS de estos circuitos integrados ofrece tamaño reducido y bajo consumo de potencia. Además, proporcionan almacenamiento no volátil de mensajes y alta calidad de sonido; poseen características avanzadas para el direccionamiento de mensajes tales como acceso aleatorio y opciones de adelanto y atraso de los mensajes, sin retardos.

Asimismo, la alta calidad en la reproducción de la voz se debe a que las señales de audio son directamente almacenadas en el arreglo de memoria en su forma natural, sin compresión alguna.

Lógica de control: El control del ISD4003-8M se hace por medio de una interfaz serial síncrona (SPI) de un microcontrolador.

3.4.2 Lógica de control para el teclado. El sistema diseñado debe vincular cualquier tecla del tablero con un sonido previamente almacenado, por lo tanto, se requiere un procesador que detecte e identifique la tecla presionada y envíe la lógica de control necesaria, mediante un módulo SPI, al ISD4003-8M. Un microcontrolador configurado apropiadamente y con los algoritmos adecuados puede llevar a cabo este proceso.

● CONFIGURACIÓN DEL TECLADO

Un microcontrolador típicamente recibe órdenes de usuario a través de pines digitales de entrada. La implementación más simple y más fácil de realizar para la

* El chip utiliza tecnología MLC que le permite almacenar dos bits de información en cada celda de memoria.

configuración de un teclado es un switch directamente conectado a un pin de entrada. Sin embargo en este caso el empleo de los recursos no es el más eficiente, en donde un bit de puerto representa el estado de un switch.

❖ *Teclado Matricial*

Otro método más eficiente emplea un teclado matricial, un elemento común en sistemas compactos. Este tipo de teclado está organizado como un conjunto de switches en las intersecciones de varias filas y columnas conductoras, como se muestra en la figura 3. En este caso, un byte del registro de un puerto puede ser leído para determinar cuál tecla fue presionada.

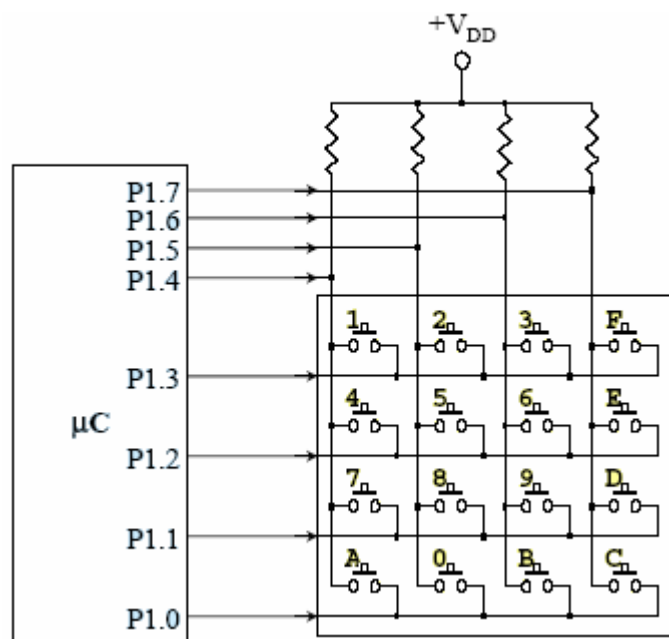


Figura 3. Implementación del teclado matricial.

Un teclado matricial permite implementar un gran número de teclas con un reducido número de pines de puerto. Para minimizar el número de pines requeridos, las teclas deben ser ordenadas en una matriz tan cuadrada como sea posible.

● ALTERNATIVAS DE SELECCIÓN

Para la selección del microcontrolador de mejor desempeño para el sistema, se tuvieron en cuenta microcontroladores de TEXAS INSTRUMENTS (MSP430f157), PIC (PIC16f877) y MOTOROLA (MC68HC705C8A, HC908GP32,), los cuáles cumplen con los requisitos técnicos del sistema, esto es, módulo de comunicación síncrona (SPI) e interrupciones por puerto. Asimismo, dentro de esta gama de microcontroladores se tuvo en cuenta parámetros como memoria de programa, memoria de datos, disponibilidad y desempeño.

El MSP430f157 es un microcontrolador de 16 bits, arquitectura RISC y es uno de los mejores microcontroladores en cuanto a consumo de potencia. Sin embargo, sólo se aprovecharía un pequeño porcentaje de su capacidad ya que ofrece un rendimiento mucho mayor que el requerido en este sistema, considerando su gran número de puertos y su arquitectura de 16 bits.

Por otro lado, las características del PIC16f877 lo acercan a los requerimientos del sistema, no obstante, sus limitaciones de memoria FLASH y memoria RAM, así como también su desempeño moderado en aplicaciones basadas en lenguaje C (requiere de un compilador externo) son motivos para prescindir de sus prestaciones.

La arquitectura de la familia HC05 y HC08 de MOTOROLA es óptima para compiladores en lenguaje C, sin embargo esta última ofrece nuevas y mejores prestaciones, incluidas la inserción de 78 nuevas instrucciones optimizados para lenguaje de alto nivel 'C' y 16 modos de direccionamiento (8 más que HC05). La familia de microcontroladores MC68HC08 dispone de todas las características necesarias y suficientes para llevar a cabo el control del entrenador auditivo, así como también bajo consumo de potencia, bajo costo y fácil disponibilidad del sistema de desarrollo.

● SELECCIÓN DEL MICROCONTROLADOR

Considerando funcionalidad y desempeño, se seleccionó el microcontrolador 68HC908GP232 de Motorola. Su elección se hizo básicamente con base en los requerimientos técnicos exigidos por el sistema, esencialmente:

- Bajo consumo de potencia.
- Manejo de interrupciones por teclado.
- Número de puertos necesarios para la implementación del teclado.
- Módulo de comunicación serial síncrona (SPI).

El gran rendimiento, estabilidad, fácil adquisición, bajo costo y familiaridad con el set de instrucciones hacen de este microcontrolador una buena elección.

● MICROCONTROLADOR 68HC908GP32

❖ Características de la familia 68HC908

- Código compatible con el del 68HC05
- Alta integración.
- Alto desempeño.
- Fácil migración

❖ Descripción general

El 68HC908GP32 es un microcontrolador de 40 pines, pertenece a la familia de microcontroladores de 8 bits y de muy alto rendimiento. Las principales características de este dispositivo son:

- Arquitectura óptima para compiladores en lenguaje C.
- Frecuencia interna de 8 MHz a 5V.
- 512 bytes de memoria RAM.
- 32 Kbytes de memoria flash.
- Dos modos de operación con bajo consumo de potencia: WAIT y STOP.
- Módulo de comunicación síncrona (SPI).
- Módulo de comunicación asíncrona (SCI).
- Registros de entrada / salida direccionables en el mapa de memoria.
- 29 líneas bidireccionables de entrada / salida, con manejo de cargas hasta de 10mA.

- Voltaje de operación de 3V o 5.0V.
- Reset bidireccional con *pull-up* interno, IRQ con *pull-up* interno, PORTA *pull-up* seleccionable.
- 17 fuentes de interrupción sectorizadas.
- Reset automático por direccionamiento ilegal de memoria y por instrucción ilegal.
- Interrupción por bajo voltaje (LVI) interna.

3.4.3 Nivel de audio. Uno de los requerimientos del sistema es proporcionar el nivel de audio apropiado para que los sonidos sean plenamente audibles para el paciente y las personas a cargo de su cuidado.

La potencia que el ISD4003-8M puede entregar a un altavoz no es la suficiente para lograr un nivel de audio adecuado, es decir, el integrado no puede suplir las exigencias de corriente. Por lo tanto, si se desea acoplar un altavoz a la salida del dispositivo, se debe implementar un *driver* que suministre la corriente necesaria para que la potencia acústica sea la adecuada. Para lograr este objetivo, se decidió emplear un amplificador a la salida del ISD4003-8M que pueda compensar los requerimientos de volumen.

● AMPLIFICADORES DE AUDIO

Los amplificadores son típicamente clasificados por sus etapas de salida y éstas a su vez, son clasificadas de acuerdo a la forma de onda de la corriente de colector del transistor de salida cuando se aplica una señal de entrada. Hay cinco clases de amplificadores: clase A, clase AB, clase B, clase C y clase D.

❖ Clase A

La etapa de salida clase A más sencilla es el seguidor de emisor con una eficiencia máxima alcanzable del 25%⁶. Esta etapa emplea una corriente de polarización mayor

⁶ SEDRA, Abel S., SMITH, Kenneth C.. Circuitos microelectrónicos, México, Oxford University Press México, 1999, 758 p.

que la máxima corriente de señal, de tal forma que los transistores de salida conducen permanentemente. La gran ventaja de la clase A es que es casi lineal, y en consecuencia la distorsión que adiciona es menor.

La mayor desventaja de esta etapa de salida es el consumo estático de potencia incluso en ausencia de señal de entrada. Esto en primer lugar puede reducir drásticamente el tiempo de duración de las baterías empleadas en equipos electrónicos y en segundo lugar, el consumo de potencia continuado provoca un incremento de temperatura en los dispositivos, fenómeno que limita su tiempo de vida medio.

❖ **Clase B**

Un amplificador clase B emplea transistores complementarios para cada semiciclo de la señal de entrada. No requiere corriente de polarización, cuando uno de los transistores trabaja, el otro no opera y disipa el calor. La eficiencia teórica de un amplificador "Clase B" es del 78.5%⁷, muy superior al 25% de la etapa de salida clase A.

Sin embargo, la transición entre el apagado de un transistor y el encendido del otro (ambos transistores están en corte) ocasiona una banda muerta que causa la "**distorsión de cruce**". Esta distorsión se presenta en la onda de salida cada vez que la amplitud de la señal de entrada (aproximadamente hasta 0.6V) no consiga que un transistor empiece a conducir y opere. Este efecto de distorsión se hace aún mas pronunciado cuando se trabajan con señales de pequeña amplitud. En amplificadores de audio de potencia puede dar lugar a sonidos desagradables.

❖ **Clase C**

Los amplificadores clase C en su etapa de salida también requieren corriente de polarización cero. En ellos, la corriente de colector circula para menos de un semiciclo de la señal de entrada, lo cual se logra mediante la polarización inversa de la unión emisor – base, la cual coloca el punto de operación dc por debajo del punto de corte y permite solo que una parte de la señal de entrada supere la polarización inversa y

⁷ Ibid, 760 p.

cause que la corriente de colector fluya. Convirtiéndose este hecho en el principal inconveniente de esta etapa.

Las desventajas que presentan los amplificadores clase B son más evidentes en los clase C, por tanto, éstos tampoco son prácticos para aplicaciones de audio.

❖ **Clase AB**

Como se especificó anteriormente, un amplificador clase A es muy ineficiente y los clase B adicionan distorsión a la señal de entrada, lo cual no es adecuado en un amplificador de audio.

La distorsión de cruce, característica de la etapa de salida clase B, puede ser eliminada añadiendo algún circuito que polarice a los transistores de salida con corrientes de polarización bajas (inferior a las empleadas en la clase A), pero suficientes para que su punto de trabajo esté en la región lineal (próxima a la región de corte), esta construcción corresponde a un amplificador clase AB.

Los amplificadores clase AB son también ineficientes pero son más eficientes que los clase A. La razón por la que estas configuraciones son ineficientes es debido a que los transistores de salida en un amplificador lineal operan en sus regiones activas, requiriendo un cierto nivel de corriente de polarización para su normal operación. La corriente de polarización disminuye la eficiencia por disipación extra de potencia (calor) en los transistores de salida.

❖ **Clase D**

Una alternativa de amplificación, que no requiere corriente de polarización (incrementando la eficiencia) y no presenta problemas de "distorsión de cruce", son los amplificadores clase D.

Los amplificadores clase D utilizan señales de pulso (digitales) que se activan para un intervalo corto y se desactivan para un intervalo mas largo. Al utilizar estas técnicas digitales se hace posible obtener una señal que varíe sobre el ciclo completo,

empleando circuitos de muestreo y retención (*sample and hold*) de diversos fragmentos, de la señal de entrada. La mayor ventaja de la operación de amplificadores clase D es que éstos se encuentran activados o encendidos sólo para intervalos cortos y la eficiencia total puede ser prácticamente muy alta.

En su forma más simple, un amplificador de modo switcheo consiste en un puente H y una carga. La carga del puente H incluye la impedancia del parlante y un filtro pasivo LC. El puente H conduce corriente al altavoz y el filtro LC atenúa el ruido de conmutación.

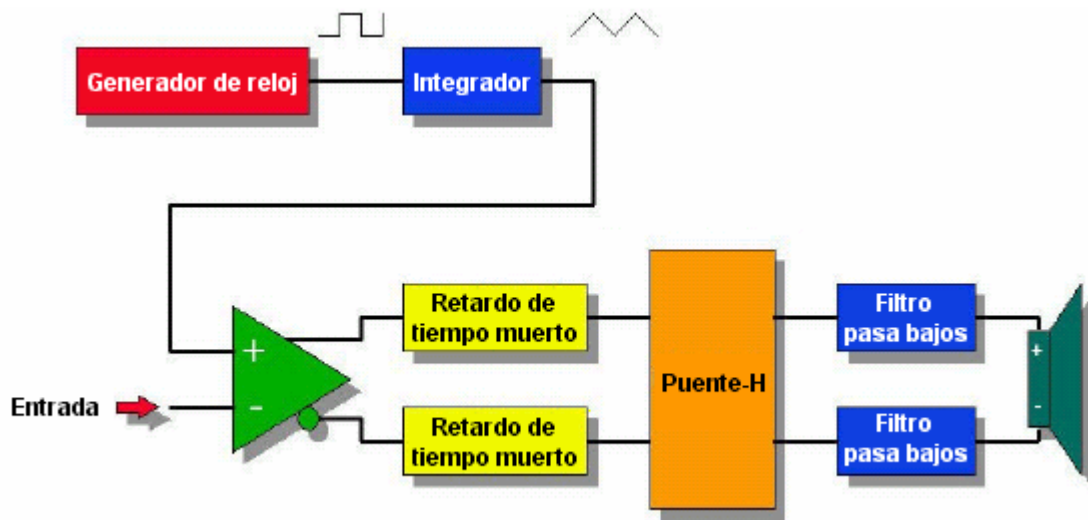


Figura 4. Diagrama de bloques para un amplificador clase D.

De las topologías comunes de etapas de salida (Clase A, B, AB, C y D) los amplificadores clase D exhiben la máxima eficiencia. Una etapa de salida no-lineal mejora la eficiencia y extiende la vida útil de la batería debido a que elimina la corriente de polarización, sin embargo, la eficiencia es obtenida a cambio de ruido y distorsión, inconvenientes que se pueden minimizar con el adecuado diseño del filtro de salida.

Dado que los equipos electrónicos portátiles demandan dispositivos cada vez más pequeños y con bajo consumo de energía, se emplean amplificadores clase D que proveen el balance entre eficiencia y distorsión requerido para estos sistemas.

● SELECCIÓN DEL AMPLIFICADOR

Considerando el gran desempeño que ofrecen los amplificadores clase D, representado en alta eficiencia y distorsión reducida, se seleccionó este tipo de amplificador para entregar la potencia acústica adecuada requerida en el sistema.

Implementar un amplificador con componentes discretos adicionaría complejidad al sistema y ruido a la señal de audio que se desea reproducir, por lo que un circuito integrado de alto desempeño representa la mejor alternativa.

● SELECCIÓN DEL CIRCUITO INTEGRADO

Se seleccionó el MAX4295 de MAXIM como amplificador de audio dado que posee características que sustentan su alto desempeño. Entre otras, las características que permitieron su escogencia fueron:

- Eficiencia superior al 80%.
- Distorsión armónica total (THD)* + nivel de ruido igual a 0.4%.
- Modalidad de bajo consumo de potencia, con suministro de corriente menor de 1.5 μ A.
- Protección del integrado:
 - Protección térmica por sobrecarga.
 - Limitación de corriente.
 - Apagado automático por voltaje de suministro bajo.

● MAX4295 de Maxim

El MAX4295 es un amplificador de audio monofónico Clase D, tiene una eficiencia superior al 80% y capacidad de suministrar una potencia de 2 Watts continua a una carga de 4 ohmios. Consta de un preamplificador en la entrada para: filtrado,

* THD es el valor r.m.s. de las componentes armónicas de la señal de salida (excluyendo la fundamental), expresado como porcentaje del valor r.m.s. de la componente fundamental. Valores del orden del 1% representan alta fidelidad.

amplificación y desplazamiento de nivel, un oscilador diente de sierra, un comparador, driver de MOSFET y un puente H.

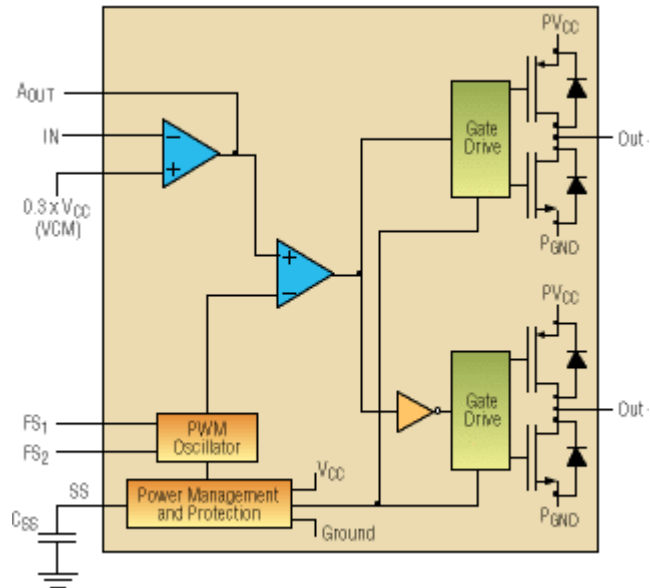


Figura 5. Estructura interna del amplificador de audio MAX4295.

El comparador muestrea la señal de audio comparándola con la señal diente de sierra a una frecuencia determinada por el oscilador interno y controlada por las entradas FS1 y FS2. La salida del comparador es una onda cuadrada con ancho de pulso modulado (PWM) que controla al puente H. Éste entrega la señal PWM al filtro LC y la carga.

3.5 DISEÑO ELECTRÓNICO

Teniendo en cuenta los parámetros de diseño y los dispositivos seleccionados, se pueden plantear las etapas electrónicas necesarias para la construcción del entrenador auditivo. La figura 6 presenta un esquema de estas etapas.

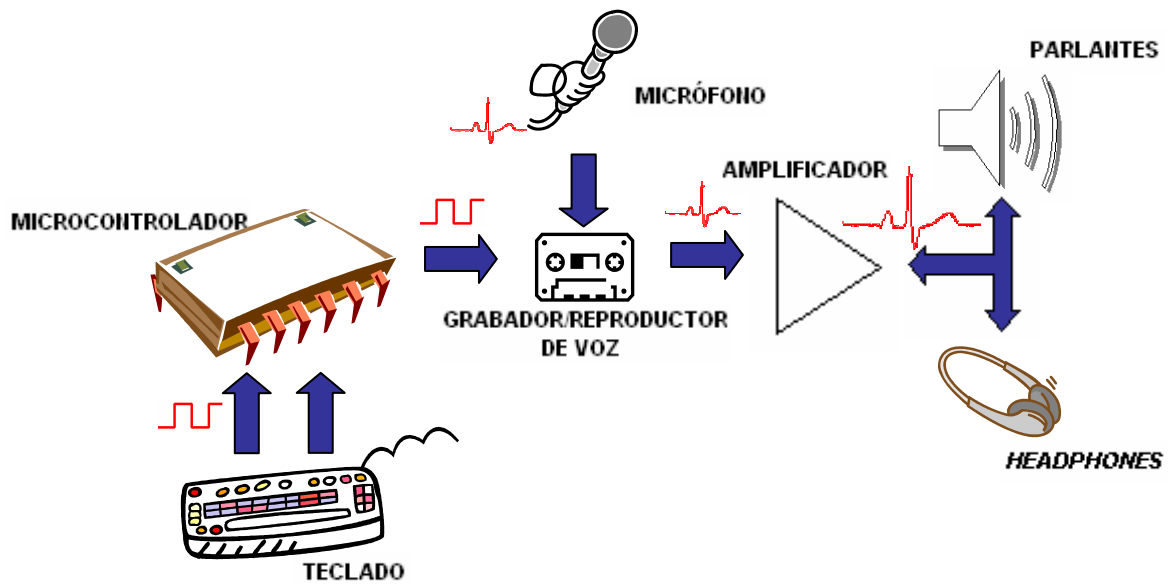


Figura 6. Diagrama de bloques del entrenador auditivo.

3.6 DESCRIPCIÓN DE LOS CIRCUITOS IMPLEMENTADOS

A continuación se realiza un breve resumen del funcionamiento de cada uno de los circuitos integrados utilizados y su correspondiente implementación para el desarrollo del hardware del entrenador auditivo.

3.6.1 Circuito para la grabación y reproducción de mensajes. Como se registró anteriormente, el dispositivo utilizado para el almacenamiento de información es el ISD4003-8M, el cual está diseñado para ser controlado por la Interfaz Periférica Serial de un microcontrolador.

● FUNCIONAMIENTO DEL CIRCUITO GRABADOR / REPRODUCTOR DE VOZ

El ISD4003-8M posee la siguiente estructura interna:

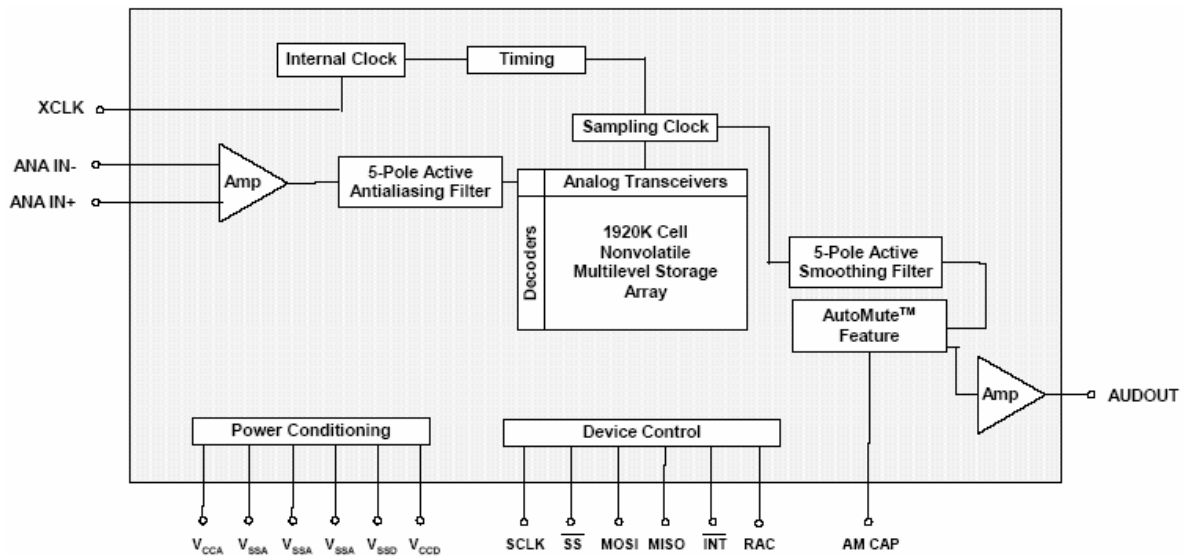


Figura 7. Estructura interna de la serie ISD 4003.

La señal es introducida al dispositivo por medio de las entradas diferenciales ANA IN⁻ y ANA IN⁺ de las cuáles pasa a ser amplificada con una ganancia de $G = -17.67$ V/V. Posteriormente pasa a través de una etapa de prefiltrado que minimiza la posibilidad de distorsión por *aliasing*. En específico, se trata de un filtro antialiasing -pasabajos-activo de 5^o orden, característica que garantiza un proceso de filtrado de alta calidad. Luego, *transceivers analógicos* se encargan del proceso de muestreo y retención de la señal analógica previamente filtrada, cuyas muestras se almacenan directamente –sin compresión- en una memoria flash de alta densidad.

En el proceso de reproducción, decodificadores se encargan de localizar en la memoria las muestras almacenadas y posteriormente la señal de audio es reconstruida. Ésta pasa a través de un filtro pasabajos que atenúa las frecuencias indeseables de la señal. Como etapa final se cuenta con un amplificador que ajusta el nivel de la señal de audio a un valor de aproximadamente 450 mVp-p cuando la señal de entrada presenta el valor máximo permisible ($V_{IN} = 32$ mVp-p).

● SEÑAL DE ENTRADA

El ISD4003-8M capta señales de audio diferenciales o referenciadas a tierra a través de las entradas ANA IN⁻ y ANA IN⁺. Estos pines transfieren la señal de audio al dispositivo durante el proceso de grabación.

Para agregarle mayor funcionalidad al sistema, se decidió implementar dos tipos de entradas seleccionables:

- Entrada por línea auxiliar.
- Entrada por micrófono.

❖ *Entrada por línea auxiliar:*

Esta entrada permite acoplar el dispositivo con cualquier fuente de audio externa del cuál se requiera información. Esto se puede lograr desde tarjetas de sonido de computadores, reproductores de música, grabadoras de voz, o en general cualquier otra fuente. Estos equipos entregan una señal de voltaje referida a tierra (en sistemas estereofónicos cada banda se referencia a tierra), por lo que se hace necesario aterrizar la entrada negativa del dispositivo (ANA⁻) y tomar la señal entre la entrada ANA⁺ y tierra.

Entregar el nivel de señal analógica adecuado al ISD4003 mejora en gran medida la calidad de grabación. Para obtener una calidad de sonido óptima, el máximo valor permisible de la señal de audio de entrada debe ser de aproximadamente $V_{IN}=32$ mVp-p. Sin embargo, la mayoría de sistemas de sonido manejan valores entre 300mV y 2 V RMS, lo cuál ocasionaría un inadecuado acople con el ISD4003. Para solucionar parcialmente este inconveniente, se decidió implementar una alternativa sencilla de un divisor de tensión que permite reducir la señal de entrada a un nivel adecuado, entre 0V y 32mVp-p, cuando desde la fuente se introducen señales entre 0V y 500mV RMS. Con esto se logra un amplio rango de variación en cuanto a la señal que se desea grabar, pudiéndose ajustar el nivel de volumen en caso de que la señal exceda los 500mV RMS. Los valores del divisor de tensión se muestran en la siguiente figura:

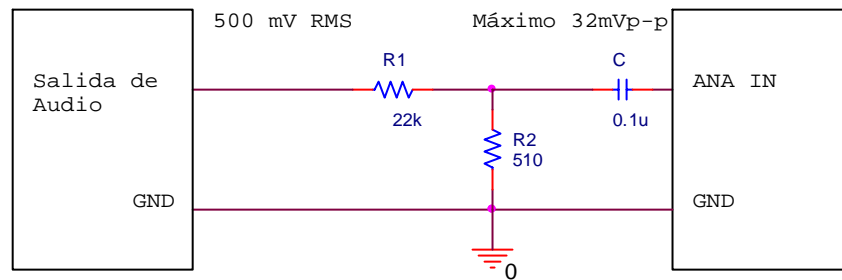


Figura 8. Ajuste de la señal de entrada proveniente de un sistema de audio.

Filtrado de la componente de DC

La señal de audio debe variar su amplitud con respecto a un nivel de referencia, objetivo que se consigue fácilmente cuando el dispositivo que la genera posee polarización dual. En este caso, la señal oscila entre valores positivos y negativos respecto a tierra, gracias a la simetría que se presenta. Debido a que el ISD4003-8M no es alimentado con una fuente dual, internamente se genera este nivel de referencia a partir de un nivel de tensión constante (1.2V). Cualquier nivel de DC que contenga la señal de entrada no representa información y por ende se hace necesario eliminarla. Por lo tanto se implementa a la entrada del dispositivo un filtro pasaltos que permite atenuar la componente de continua que se pueda superponer a la *referencia artificial interna*. Esta etapa de filtrado se logra adecuando un condensador en la entrada ANA IN⁺, aprovechando la resistencia de entrada de 3kΩ del integrado. El circuito de entrada se muestra en la siguiente figura:

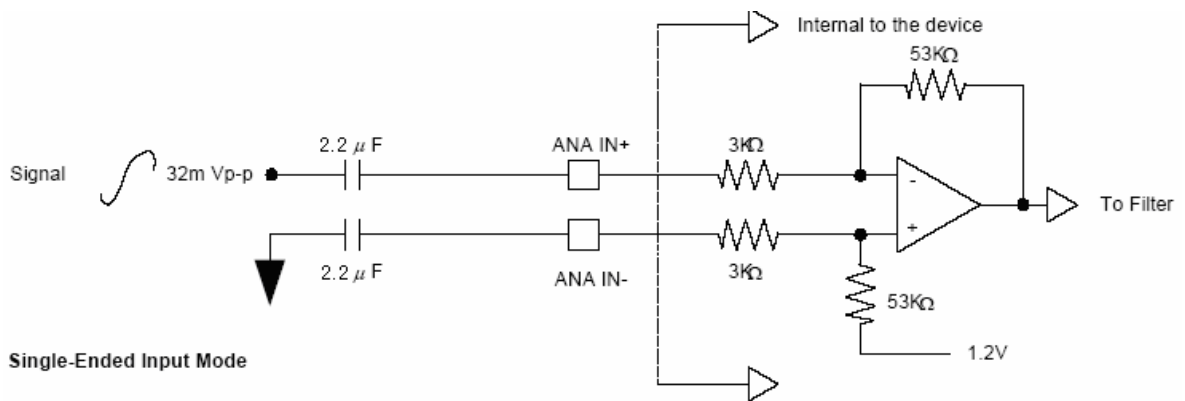


Figura 9. Modo de entrada no diferencial.

La frecuencia de corte, en función de la capacitancia, está dada por:

$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot 3k \cdot C}$$

La escogencia de esta frecuencia de corte se hizo considerando que las frecuencias audibles por el oído humano empiezan a partir de 20 Hz. Un valor de $C = 2.2 \mu\text{F}$, que origina una frecuencia $f_c = 24.1 \text{ Hz}$, se consideró apropiado.

❖ Entrada por micrófono:

Para lograr el ingreso de señales de audio por medio del micrófono se empleó un circuito típico que permite una polarización adecuada y al mismo tiempo minimiza el ruido que pueda producir la fuente de potencia. El esquema se muestra a continuación:

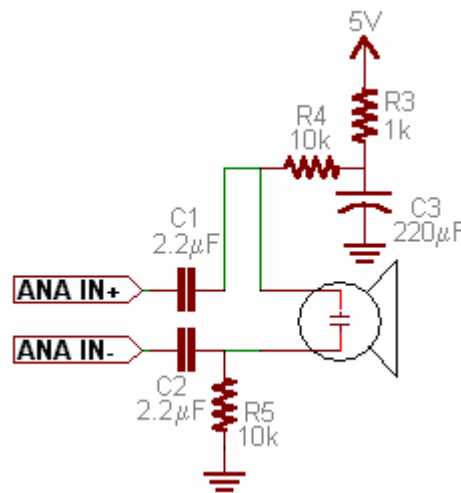


Figura 10. Circuito de polarización del micrófono.

La resistencia R_3 y el condensador C_3 minimizan el ruido que se pueda generar debido a la fuente. Las resistencias R_4 y R_5 proveen la polarización adecuada para el funcionamiento del micrófono. Los condensadores a la entrada del dispositivo, de nuevo desacoplan la señal de componentes de continua, conservándose la misma frecuencia de corte $f_c = 24.1 \text{ Hz}$.

● LÓGICA DE CONTROL DEL ISD4003-8M

El control del ISD4003-8M se hace por medio de la interfaz serial SPI o módulo serial síncrono –un reloj permite la sincronía entre el ISD y el microcontrolador-. Este sistema de comunicación reduce el número de pines necesarios para el control.

Básicamente, los pines que intervienen en este proceso son:

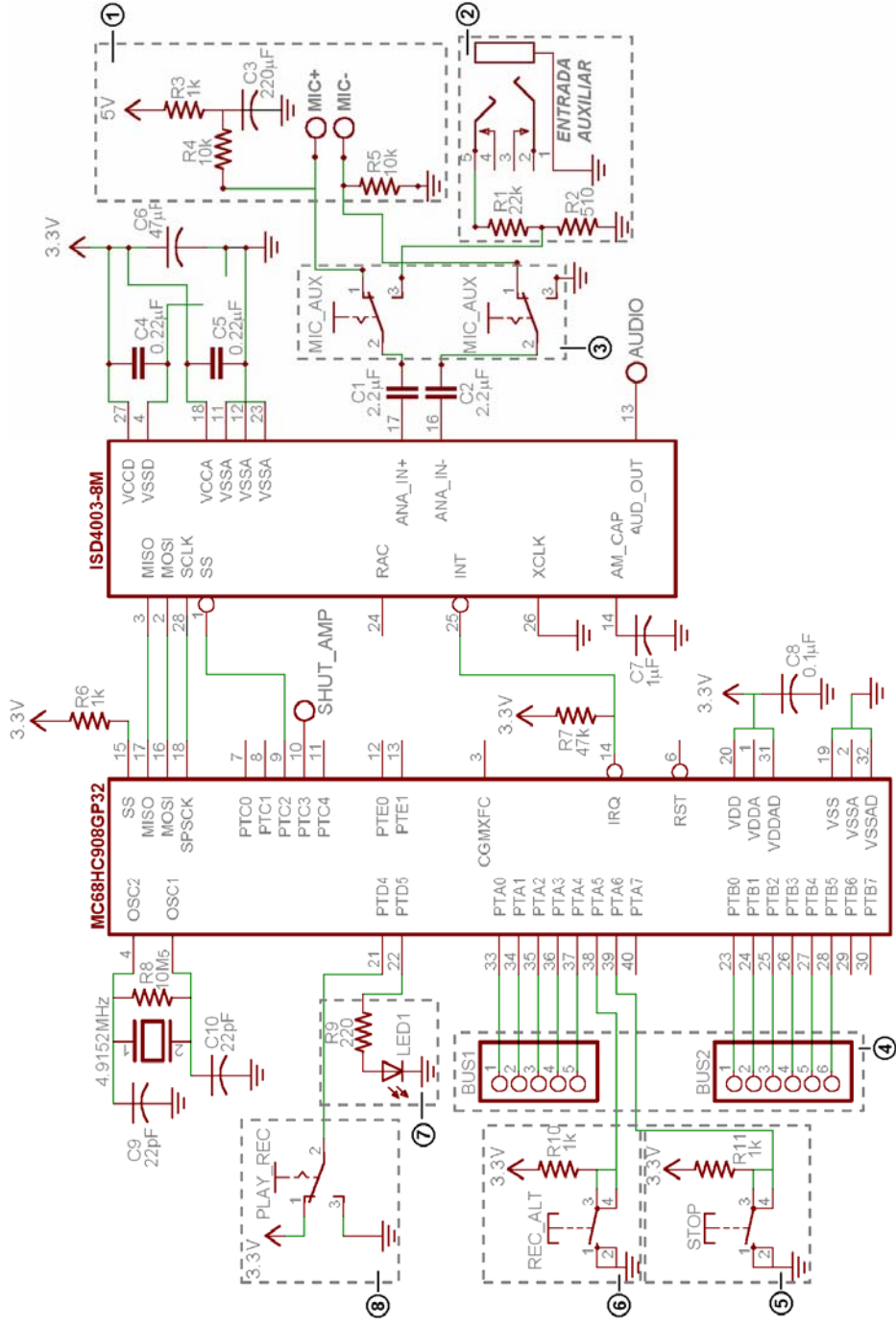
- MOSI (*Master Out Slave In*): A través de esta entrada, el microcontrolador envía los datos para el control.
- MISO (*Master In Slave Out*): Esta es la salida serial del dispositivo mediante la cuál se envía un registro de datos al microcontrolador con información acerca del direccionamiento de los datos almacenados.
- SS (*Slave Select*): Mediante esta entrada se habilita el ingreso de datos al ISD4003.
- SCLK (*Serial Clock*): Este es el reloj de entrada del dispositivo, es generado por el microcontrolador y es empleado para sincronizar la entrada y salida de datos a través de los pines MOSI y MISO respectivamente.

Los pines PTD0-PTD4 corresponden al módulo SPI del microcontrolador 68HC908GP32, los cuales se convierten en la única comunicación de control con el ISD4003.

En la figura 11 se muestra el diagrama de conexión entre el microcontrolador y el ISD4003-8M.

● CONSUMO DE POTENCIA

Los bajos niveles de corriente que requiere el ISD4003-8M lo hace adecuado para aplicaciones que demandan bajo consumo de potencia. En específico, los valores típicos de corriente que se debe suministrar al dispositivo para cada proceso es:



1. Micrófono.
2. Entrada auxiliar.
3. Selección de micrófono o entrada auxiliar.
4. Buses del teclado.
5. Pulsador para detener la reproducción o grabación.
6. Pulsador para grabar mensaje alterno.
7. Indicador de grabación.
8. Selección de modo grabación o reproducción.

Figura 1.1. Circuito para grabación y reproducción .

Proceso activo

$$I_{CC_PLAY} = 15\text{mA}$$

$$I_{CC_REC} = 25\text{mA}$$

Modo de espera

$$I_{CC_REC} = 1\mu\text{A}$$

3.6.2 Implementación electrónica del teclado. Un teclado matricial permite implementar, con relativa sencillez, un gran número de teclas con un reducido número de pines de puerto. El entrenador auditivo requiere el control de 30 teclas, por lo que se decidió implementar un teclado matricial de 5 x 6, como el que se muestra en la figura 12.

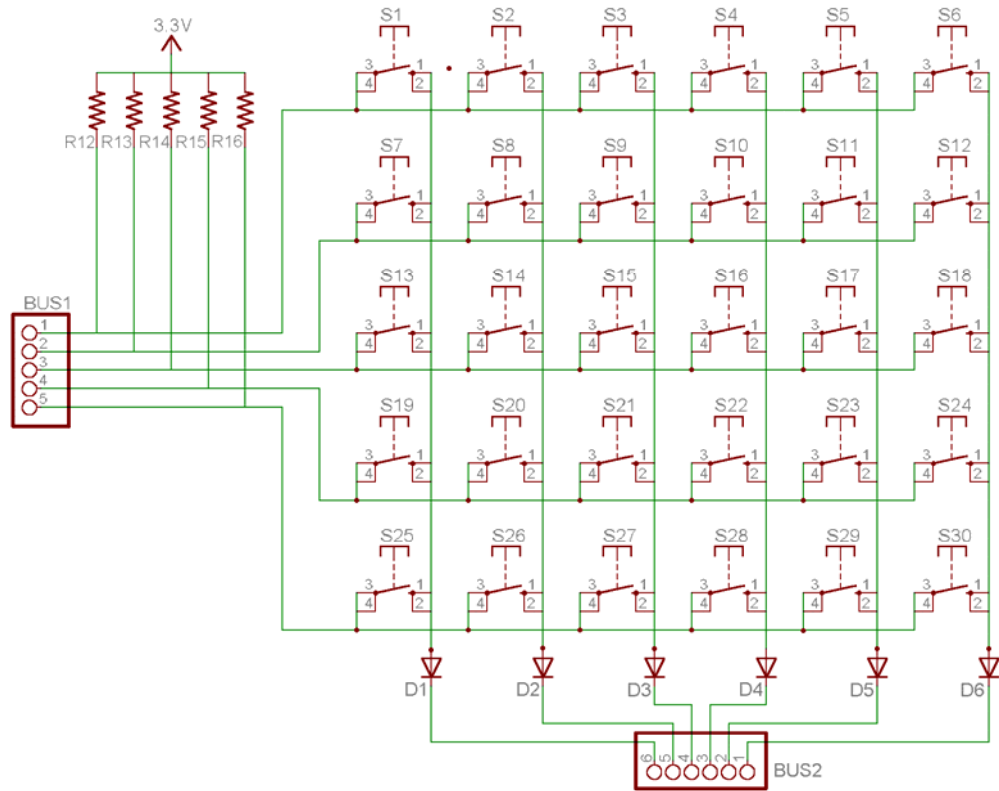


Figura 12. Teclado matricial 5 x 6.

Las 5 filas del teclado se conectan a las entradas KBI del microcontrolador (Puerto A) y se activan a través de las resistencias $R_{12} - R_{16}$; las 6 columnas restantes se conectan al puerto B por medio de unos diodos de protección. Mientras no se presione ninguna tecla, el puerto A se mantiene en su totalidad de pines con un nivel alto. Cuando se pulsa una tecla, la entrada de la fila correspondiente pasa a un nivel bajo y se genera una interrupción sin ninguna circuitería lógica adicional. La rutina de servicio de interrupción detecta la acción de una tecla y determina cuál tecla fue pulsada, examinando las columnas. Los diodos de protección ubicados en cada línea de salida del puerto B evitan que al activar más de una columna a la vez se produzca un corto circuito.

3.6.3 Amplificador de audio. Para ajustar el nivel de la señal de audio se seleccionó el amplificador clase D MAX4295.

● MAX4295

Los amplificadores no lineales clase D proveen eficiencia y prolongan la vida útil de las baterías dado que eliminan la corriente de polarización, necesaria en otras etapas de salida, a cambio de niveles aceptables de ruido y distorsión. Este tipo de amplificador es el más adecuado para este sistema portátil dado que el factor *consumo de potencia* es esencial en la autonomía.

❖ Funcionamiento

La señal de entrada es inicialmente filtrada para eliminar niveles de DC que puedan alterar la información de audio. Posteriormente es amplificada, invertida y referenciada a una tensión de 1.5V para permitir su oscilación respecto a este nivel. Esta señal es comparada con una señal 'Diente de sierra' generada internamente por el integrado y cuya frecuencia puede ser ajustable para valores de 125kHz, 250Hzk, 500Hzk y 1MHz. De este proceso de comparación resulta una señal PWM (figura 13) con la misma frecuencia de la señal diente de sierra y con la información de la señal de audio contenida en el ciclo de trabajo. Cuando no existe señal de audio presente en la

entrada del amplificador, el ciclo útil del PWM es del 50% (se compara la señal Diente de sierra con un nivel de tensión de 1.5 V).

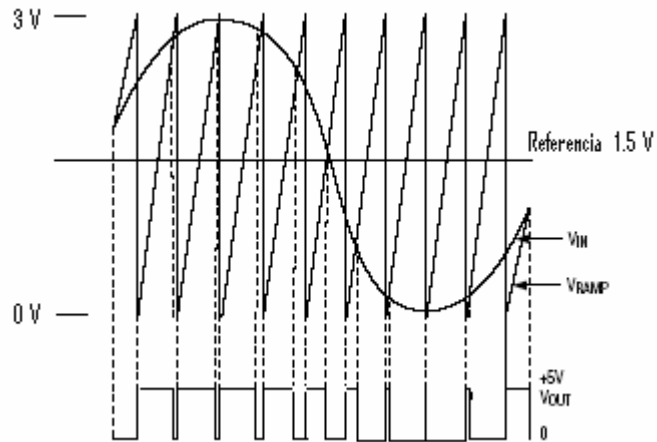


Figura 13. Señal PWM.

Para poder suministrar la corriente suficiente a los parlantes y que se pueda generar la potencia acústica requerida, se cuenta con un puente H como etapa de salida, como la que se muestra en el siguiente gráfico:

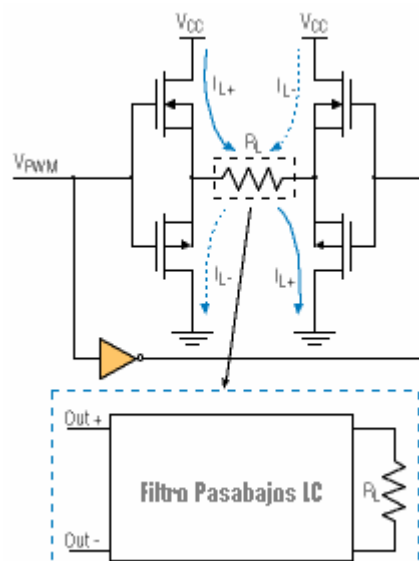


Figura 14. Etapa de salida amplificador clase D.

La configuración del puente H y el ciclo útil del PWM permiten que sólo se active un par de MOSFETs al tiempo (un MOSFET-*n* y otro MOSFET-*p* opuestos), por medio de los cuáles circula la corriente que genera el nivel positivo y negativo de la señal de salida, OUT^+ y OUT^- , como se muestra en la figura 15.

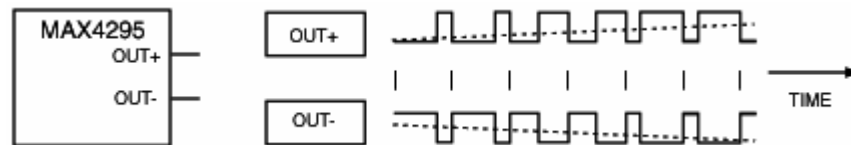


Figura 15. Salidas PWM complementarias generadas por el puente H.

Esta etapa bipolar genera las señales OUT^+ y OUT^- como complementos, las cuales representan la parte positiva y negativa de la señal de audio respectivamente. En este punto, los niveles de DC que se generan con anterioridad se contrarrestan.

En realidad lo que el MAX4295 entrega a la salida es una señal PWM que contiene la información de audio original en frecuencias relativamente bajas (20Hz – 20kHz) y *ruido de switcheo* indeseado a frecuencias altas (frecuencia de muestreo). De aquí la importancia de implementar un filtro pasabajos altamente selectivo que permita seleccionar solamente la banda de audio y atenuar completamente las altas frecuencias.

• SELECCIÓN DE LA FRECUENCIA DE MUESTREO

La frecuencia de la señal diente de sierra es un importante parámetro en consideración para el diseño de amplificadores clase D. Esta frecuencia de muestreo influye en la eficiencia y calidad de audio del amplificador y determina la frecuencia del PWM de salida.

El MAX4295 permite variar la frecuencia de muestreo de la señal de audio mediante un oscilador programable controlado por las entradas FS1 y FS2. Esta frecuencia de muestreo puede ser seleccionada entre valores de 125kHz, 250kHz, 500kHz y 1MHz.

Para garantizar una buena calidad de audio, se seleccionó una frecuencia de 250kHz (≈ 10 veces mayor que la máxima frecuencia de la señal de entrada.)

● ETAPA DE ENTRADA

❖ Filtro pasaaltos

Las señales de audio perceptibles por el oído humano se encuentran en un rango de frecuencias que comprenden los 20Hz hasta 20kHz. Por lo tanto, aplicaciones de audio de alta fidelidad requieren de un filtrado adecuado que seleccione exclusivamente las frecuencias contenidas en este espectro.

Un acople directo del ISD4003 al MAX4295 ocasionaría que el nivel de DC (1.2V) contenido en la señal de audio se superponga a los niveles de referencias generados al interior del integrado, ocasionando distorsión. Por esta razón, se implementó un sencillo filtro pasaaltos ubicando un condensador de acople en serie con la resistencia de entrada al amplificador, como se muestra en la siguiente figura:

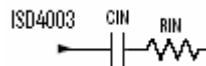


Figura 16. Filtro pasaaltos.

La frecuencia de corte de esta red de filtrado es:

$$F_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_{IN} \cdot C_{IN}}$$

Debido a que el filtro es de primer orden, se debe seleccionar una frecuencia de corte más baja que la que se desea conservar. Se seleccionó una frecuencia de corte de 16Hz, por lo que la red RC está dada por:

$$R_{IN} \cdot C_{IN} \approx 0.01$$

Se seleccionó un valor de $R_{IN} = 10k\Omega$, con lo cuál resulta:

$$C_{IN} = 1\mu F$$

❖ Etapa de amplificación

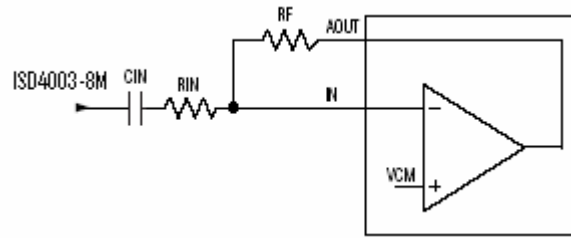


Figura 17. Etapa de amplificación a la entrada.

La primera etapa de entrada del MAX4295 consiste en un amplificador operacional en configuración inversora con ganancia dada por:

$$\Delta V = -\frac{R_F}{R_{IN}}$$

El valor típico de la señal de audio que entrega el ISD4003-8M es de 450mVp-p (con $V_{IN} = 32\text{mVp-p}$), valor aceptable para la operación del MAX4295 dado que el rango de excursión permisible es de 3Vp-p. Sin embargo, se decidió aprovechar la etapa de amplificación para obtener una señal de audio aún mayor. En específico, se decidió ajustar una ganancia de aproximadamente -5 V/V en el amplificador, para lo cual se debió emplear una resistencia de realimentación de:

$$R_F = 51\text{k}\Omega$$

De esta manera, la señal de audio que se compara tendrá aproximadamente 2.25Vp-p cuando se ingresa la máxima tensión permisible al ISD4003-8M.

❖ Nivel de referencia

Se hace necesario agregar un nivel de DC a la señal de audio previamente filtrada para permitir que ésta oscile entre valores positivos con respecto a una *tierra artificial*. Este nivel es establecido internamente por el integrado mediante un divisor de tensión aplicado a la entrada no inversora del amplificador (V_{CM}).

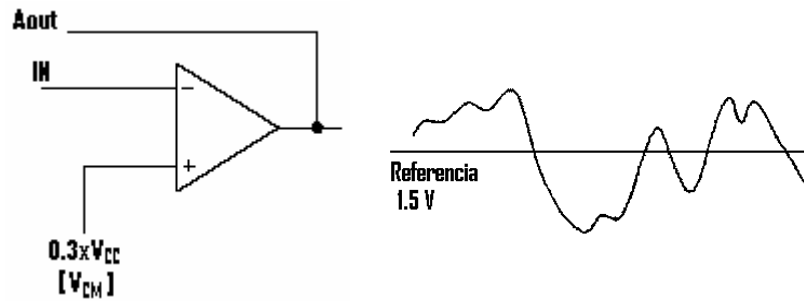


Figura 18*. Nivel de referencia.

● DISEÑO DEL FILTRO PASABAJOS

Es posible acoplar directamente la carga a la salida del MAX4295 dado que la frecuencia del PWM de salida es mucho mayor que la frecuencia a la que responden el sistema auditivo humano y los parlantes. Así, el ancho de banda limitado de estos dos elementos funcionaría como filtros para las altas frecuencias de switcheo. Aunque es posible prescindir de este filtro pasabajos, el rizo que se obtendría a la salida podría degradar sustancialmente la eficiencia del amplificador y las altas frecuencias presentes podrían causar interferencias con otros aparatos electrónicos. Asimismo, la energía de las altas frecuencias y la potencia de la señal de audio (disipadas por la red LC) serían disipadas totalmente por la carga, ocasionando posibles daños.

El filtro pasabajos es necesario para atenuar la frecuencia de switcheo (alta frecuencia) del PWM que se obtiene a la salida. La calidad de la etapa de filtrado final permite al amplificador clase D alcanzar valores de THD < 1%.

Para lograr una etapa de filtrado altamente selectiva, se decidió implementar un filtro Butterworth pasabajos de 4º orden. Este tipo de filtro ofrece una respuesta máximamente plana a frecuencias bajas y una muy buena respuesta en fase. Estas características lo hacen efectivo para suprimir la frecuencia de switcheo y sus armónicos, lo cuál incrementa en gran medida la calidad del amplificador. El filtro Butterworth de 4º orden se muestra en la figura 19.

* El valor de Vcc es 5 Voltios.

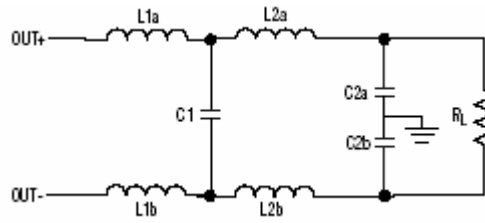


Figura 19. Filtro de salida.

Los valores de las capacitancias e inductancias están dados por:

$$L_1 = \frac{(L_{1N} \cdot R_L)}{2 \cdot \omega_o} \qquad L_2 = \frac{(L_{2N} \cdot R_L)}{2 \cdot \omega_o}$$

$$C_1 = \frac{C_{1N}}{R_L \cdot \omega_o} \qquad C_{2a} = C_{2b} = \frac{2 \cdot C_{2N}}{R_L \cdot \omega_o}$$

El objetivo es filtrar la banda de frecuencia inferior a 20kHz, y adicionalmente atenuar la frecuencia de muestreo (250kHz) con sus armónicos. Se seleccionó una frecuencia de corte de 30kHz dado que la atenuación que se presenta en la frecuencia más alta (20 kHz) es menor de 1dB, brindando una distorsión del ancho de banda tolerable.

Con $R_L = 4\Omega$ y $f_o = 30\text{kHz}$, resultan los siguientes valores:

$$L_1 = 16.24\mu\text{H} \qquad L_2 = 11.48\mu\text{H}$$

$$C_1 = 2.1\mu\text{F} \qquad C_2 = 1\mu\text{F}$$

Se seleccionaron valores comerciales de:

$$L_1 = 15\mu\text{H} \qquad L_2 = 10\mu\text{H}$$

$$C_1 = 2\mu\text{F} \qquad C_2 = 1\mu\text{F}$$

que generan frecuencias de corte muy cercanas a los 30kHz.

● SALIDA DE AUDIO

A fin de obtener la máxima potencia que puede suministrar el MAX4295 (2 Watts), se decidió emplear parlantes de 4Ω como carga de salida. Adicionalmente, en búsqueda

de un entrenamiento auditivo personal y familiarización con el tablero de comunicación, se decidió implementar audífonos que mejoren la concentración del paciente. Estos audífonos típicamente manejan impedancias alrededor de 50Ω , generándose potencias acústicas relativamente bajas, pero adecuadas para el ingreso directo al sistema auditivo.

● IMPLEMENTACIÓN DEL CIRCUITO

La figura 20 muestra el circuito implementado para la amplificación de audio.

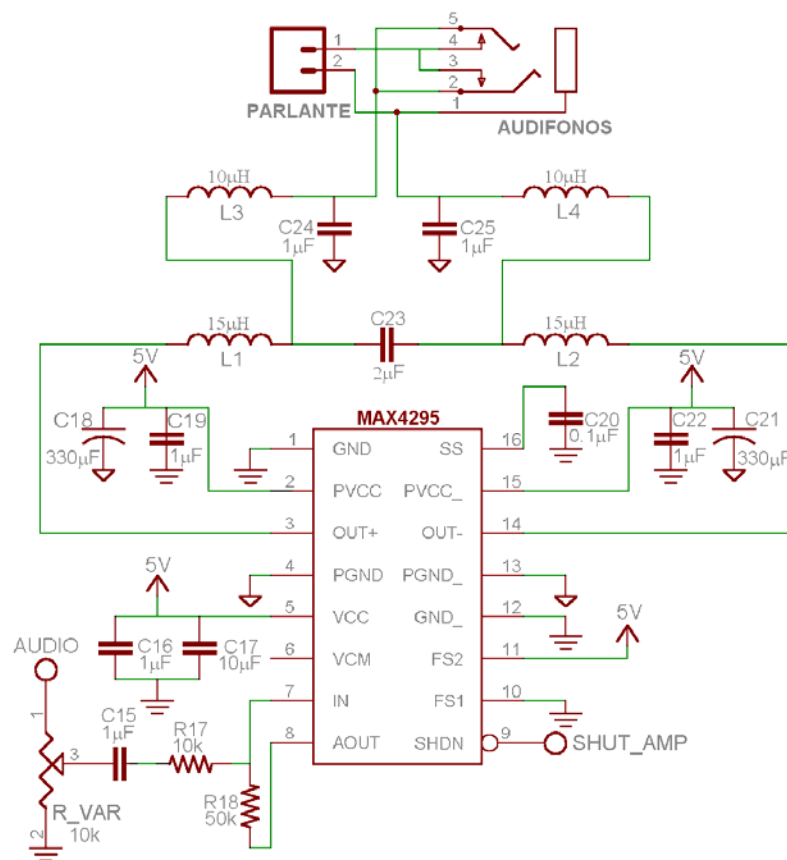


Figura 20. Circuito para amplificar la señal de audio.

● PROTECCIONES

El MAX4295 presenta los siguientes mecanismos de protección:

❖ **Limitación de corriente:**

El MAX4295 contiene un circuito limitador de corriente que monitorea constantemente la corriente que suministran los transistores del puente H, de tal manera que cuando la corriente exceda el valor de 1A, se deshabilita la etapa del puente H.

❖ **Protección térmica por sobrecarga:**

Esta protección limita la disipación de potencia en el integrado deshabilitando los transistores del puente H cuando se alcanzan valores de 145° C. Esta etapa se vuelve a habilitar cuando en el integrado reduce su temperatura a 25° C. En operación normal, el MAX4295 no alcanza valores tan altos de temperatura, sin embargo, cuando se presentan fallas tales como errores en la polarización o cortocircuito en la salida del puente H, se puede llegar a tener sobrecalentamiento.

❖ **Protección por voltaje de alimentación bajo:**

Cuando se suministra una tensión de alimentación muy baja, los MOSFETs del puente H pueden llegar a funcionar inadecuadamente y posiblemente se puede disipar excesiva potencia. El integrado posee una protección de voltaje que evita la operación del puente H cuando la tensión de alimentación esté por debajo de +2.2V.

● **EFICIENCIA DE POTENCIA**

La eficiencia de cualquier amplificador está dada por la relación:

$$\eta = \frac{P_{SALIDA}}{P_{SUMINISTRO}}$$

Debido a que los MOSFETs del puente H en un amplificador clase D no requieren corrientes de polarización, se podría pensar en una eficiencia del 100% para este tipo de amplificadores (caso ideal). Sin embargo, la resistencia de los elementos y las pérdidas de potencia debido a las altas frecuencias reducen la eficiencia de estos dispositivos.

Mediciones hechas sobre amplificadores clase D, manejando cargas de 4Ω , muestran valores de eficiencia cercanos al 85% cuando se entrega una potencia de 2 Watts. Sin embargo, la eficiencia disminuye cuando se reducen las exigencias de potencias debido a que la corriente de reposo se hace considerable con respecto a la corriente de salida. La curva de eficiencia contra potencia de salida para amplificadores clase D, bajo las mismas condiciones que se tienen en este trabajo ($V_{CC} = 5V$ y $R_L = 4\Omega$), se muestra en la figura 21.

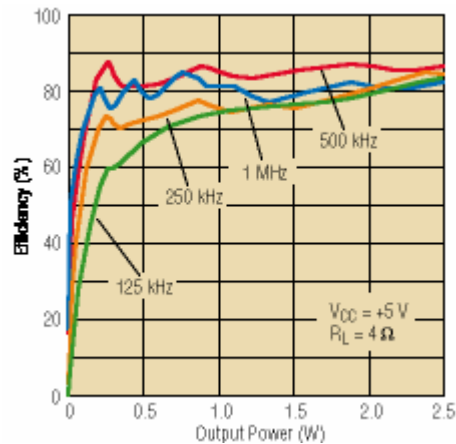


Figura 21. Eficiencia amplificador de clase D versus Potencia de salida.

3.7 FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Para el funcionamiento del sistema electrónico del entrenador auditivo es necesario emplear una fuente de alimentación que suministre los niveles de tensión y corriente adecuados para su correcta operación.

Dadas las características de los usuarios para los cuales el comunicador fué diseñado se requiere que éste sea un sistema portátil y completamente seguro, por ello el uso de adaptadores conectados a la red doméstica no representaría una solución apropiada, dado que se dificultaría el transporte y funcionalidad del sistema, y adicionalmente se tendría un alto riesgo de accidentalidad (ahogamiento, grandes descargas de corriente por cortocircuito, entre otros).

Otra alternativa de suministro de energía son las baterías, que hacen los equipos livianos, más seguros y portátiles. Las baterías se pueden clasificar en dos tipos: no recargables y recargables. Las primeras producen energía consumiendo algún químico contenido en su interior, cuando éste se agota la batería ya no produce más energía y debe ser reemplazada; las segundas obtienen su energía transformando alguno de sus químicos en otro tipo de químico, proceso reversible (a través del suministro de una corriente eléctrica de otra fuente que permita llevarlos a su estado original) que hace que cuando la pila no produzca más energía pueda ser recargada y opere nuevamente de forma normal. La característica anterior hace que las baterías recargables sean un poco más costosas, a pesar de ello, el proceso de recarga y el tiempo relativamente corto necesario para ello retribuye el excedente invertido, al ser su costo mucho menor que la adquisición de una nueva batería.

Por tales razones, el uso de una batería recargable como fuente de alimentación del entrenador auditivo es lo más conveniente en cuestión de costo y portabilidad.

3.7.1 Selección de la batería recargable. Al seleccionar una batería recargable es necesario analizar parámetros como tamaño, peso, densidad de energía, durabilidad, características de carga, requisitos de mantenimiento, costos de operación y descarga. A continuación se definen los términos más comunes empleados por los fabricantes de baterías.

- ❖ **Voltaje nominal de celda:** Es el voltaje producido por la reacción química de las celdas y depende de los materiales usados en la reacción, por lo cual éste difiere entre tecnologías.
- ❖ **Capacidad:** En general, entre más grande la batería, mayor corriente y energía puede suministrar. La capacidad de la batería es medida en Amper-hora o miliAmper-hora, y es el número de horas que la celda puede suplir una cierta cantidad de corriente antes de que su voltaje caiga por debajo de un umbral predeterminado.

Por lo general, los valores de corrientes de carga y descarga están dados en función de la capacidad / hora (**C**) de la batería, en unidades de mA.

- ❖ **Densidad de Energía:** La densidad de energía es la medida de cuánta energía puede ser almacenada en una batería por unidad de volumen o unidad de peso. La densidad de energía por unidad de peso es denominada "densidad de energía gravimétrica" y es expresada en términos de Watts-hora/kilogramo (Wh/kg).

Esta medida, la cual difiere ampliamente a través de los diferentes tipos de baterías, es útil cuando se desea determinar que tipo de batería ofrece la mayor capacidad por unidad de peso.

- ❖ **Resistencia interna:** Una batería puede ser modelada como una perfecta fuente de voltaje en serie con un resistor, esta importante característica determina la máxima tasa a la cual la potencia puede ser entregada por la batería con el voltaje y corriente máximos.

Sin embargo, baterías con baja resistencia interna pueden ser peligrosas para trabajar porque podrían circular corrientes extremadamente grandes si éstas se cortocircuitan externamente. Estas corrientes calientan el metal por el cual fluyen derritiendo fácilmente el material aislante, en algunos casos, las baterías pueden sobrecalentarse y explotar.

- ❖ **Efecto memoria:** Algunas pilas funcionan mejor si son descargadas completamente antes de cargarse nuevamente ya que puede producirse un fenómeno conocido como "efecto memoria", donde las celdas se comportan como si tuviesen menos capacidad para la cual fueron hechas debido a que tienden a "recordar" el nivel de descarga.
- ❖ **Ciclo de vida:** Se refiere a cuantas veces una batería puede ser cargada y descargada antes de que su capacidad para mantener o retener una carga termine.
- ❖ **Toxicidad:** Algunos materiales empleados en la fabricación de las baterías son tóxicos y ocasionan graves problemas ambientales.

- ❖ **Costo:** Las baterías que tienen mejor desempeño cuestan mucho más, por ello es necesario analizar y comparar las diversas características del sistema diseñado y los beneficios y desventajas de las diferentes tecnologías en el momento de realizar una elección.

● TECNOLOGÍA DE BATERÍAS

La tabla 4 presenta una comparación entre las principales baterías existentes.

	NiCad*	NiMH**	Li-ion***	Li – ion - polímero
Densidad de energía gravimétrica Wh/Kg	45 – 80 Moderada	60 – 120 Alta	110 – 160 Muy alta	100 - 130
Resistencia interna mΩ	Baja	Baja	Baja	Baja
Ciclo de vida A 80% de la capacidad inicial	1500	300 - 500	300 - 500	300 - 500
Tiempo de carga rápida	1 hora	2 – 4 horas	2 – 4 horas	2 – 4 horas
Autodescarga (%/mes)	20	30	10	10
Voltaje de celda (V_{nominal})	1.2	1.2	3.6	3.6
Máxima tasa de carga / descarga (típica)	15C	3C	1.5C	1.5C
Efecto memoria	Si	Si	No	No
Requerimiento de mantenimiento	30 a 60 días	60 – 90 días	No requiere	No requiere
Costo	Moderado	Alto	Alto	Moderado
Toxicidad	Altamente tóxico, perjudicial para el ambiente	Relativamente baja toxicidad, debería ser reciclado	Baja toxicidad, puede ser depositada en bajas cantidades	Baja toxicidad, puede ser depositada en bajas cantidades
Rango de Temperatura	-20°C _ 60°C	0°C _ 60°C	-20°C _ 60°C	0°C _ 60°C

Tabla 4⁸. Características de las baterías recargables más comúnmente usadas.

* Nickel Cadmium. Batería recargable fabricada de nitrato de níquel y cadmio.

** Nickel Metal hydride. Batería recargable fabricada de hidróxido de níquel e hidróxido de hidrógeno.

*** Lithium-Ion: Batería recargable con electrodo negativo de aluminio y electrodo positivo de óxido metálico.

⁸ Tomado de www.BatteryUniversity.com.

Las baterías de Níquel Cadmio (Nícad) tiene densidades de energía moderada, bajo tiempo de carga y número de recargas elevado. Sin embargo, contienen metales tóxicos, presenta el efecto memoria y necesita de mantenimiento regular.

La batería Níquel – Metal Híbrido (NiMH) ofrece densidades de energía más altas que las NiCads, lo cual incrementa el tiempo de uso sin aumentar su peso. Son menos propensas a presentar efecto memoria, requieren menos mantenimiento y cuidado y su nivel de toxicidad es bajo, siendo menos peligrosas para el ambiente.

Ahora bien, las baterías de Litio Ion (Li – ion) producen aproximadamente la misma energía que las baterías de NiMH pero pesan aproximadamente 35% menos, no presentan el efecto de memoria en absoluto por lo que se pueden cargar en cualquier momento o estado, son buenas para el ambiente porque no contienen materiales tóxicos como Cadmio o Mercurio, poseen ciclo de vida extendido ya que soportan más de 500 recargas, baja autodescarga ($\approx 10\%$ al mes) y tensión de descarga gradual y constante.

Por último, las baterías de Litio ion polímero poseen prácticamente las mismas características que las baterías de Litio ion, sin embargo su reducido peso se obtiene a cambio de un costo mayor.

Las importantes características de las baterías de Li-ion, que hacen disponer de una buena relación beneficio / costo, permitieron su elección como fuente de alimentación del entrenador auditivo.

3.8 REGULACIÓN DEL VOLTAJE DE ALIMENTACIÓN

Al emplear como fuente de alimentación baterías tipo Li – ion de 3.6V, es necesario emplear circuitos que permitan obtener los niveles de voltaje y corriente adecuados para el funcionamiento de cada una de las etapas diseñadas con anterioridad.

3.8.1 Principio de funcionamiento de un regulador de tensión. Un regulador de tensión consta básicamente de un voltaje de referencia, un amplificador de error y un elemento de control. Este esquema básico se muestra en la figura 22.

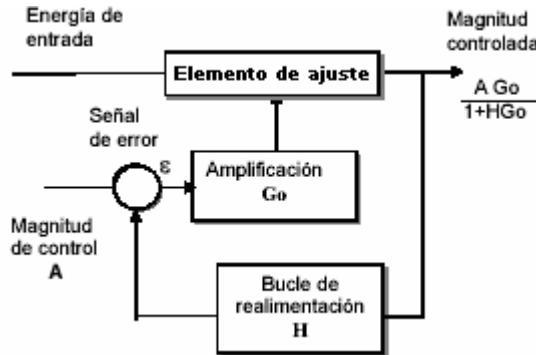


Figura 22. Diagrama de bloques básico de un regulador de tensión.

3.8.2 Tipos de reguladores. Las fuentes de alimentación reguladas pueden dividirse en dos categorías de acuerdo a la forma en que trabajan sus elementos activos: en la *zona lineal* de sus características o en *régimen de conmutación*. Estas categorías son:

- ❖ **Reguladores lineales:** La estructura básica de un regulador lineal se muestra en la figura 23. Estos reguladores operan con corriente continua a la entrada de un nivel siempre superior a la salida deseada; la tensión de salida se mantiene constante mediante el ajuste automático de la resistencia del circuito de control, el cual en la mayoría de los casos es un transistor operando en modo lineal. Esta resistencia disipa en forma de calor el exceso de potencia eléctrica disponible en la fuente de alimentación de entrada, es por ello que su rendimiento es siempre inferior a la unidad.

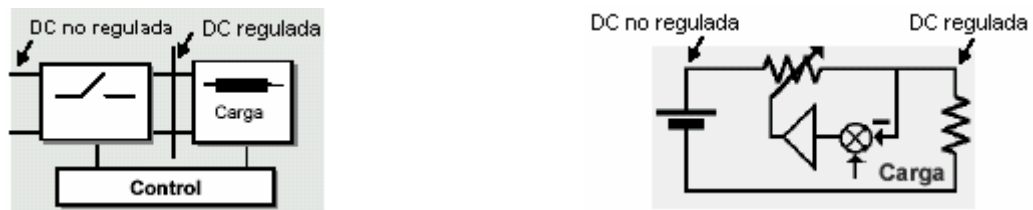


Figura 23. Diagrama de bloques de un regulador lineal.

La siguiente tabla contiene las ventajas y desventajas más importantes de los reguladores lineales.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Simplicidad • Bajo costo • Baja interferencia electromagnética • Excelente regulación de línea y de carga (0.1%) • Pequeño rizado en la tensión de salida • Rápidos tiempos de respuesta transitoria (20μs) 	<ul style="list-style-type: none"> • Transistor en la región activa (resistencia variable) \Rightarrow Pérdidas elevadas • Bajo rendimiento (30 – 50)% • Baja densidad de potencia • Tensión de salida siempre menor que la de la entrada

Tabla 5⁹. Ventajas y desventajas de los reguladores lineales.

- ❖ **Reguladores conmutados:** Estos reguladores utilizan uno o más interruptores para transformar el nivel de continua de la entrada en una determinada tensión de salida, para ello se controlan los tiempos de conducción y de corte de los conmutadores. El valor medio de la energía conducida coincide con las necesidades de la carga de tal forma que no existe desperdicio de energía en forma de calor. Antes de que esta tensión transformada llegue a la carga, debe ser filtrada para proporcionar una tensión continua estabilizada.

La estructura básica de un regulador conmutado se muestra en la figura 24.

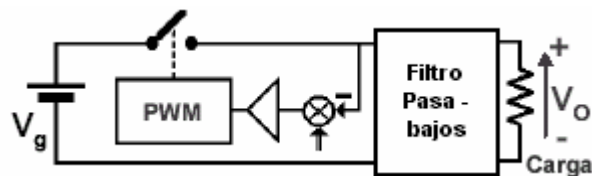


Figura 24. Diagrama interno de un regulador conmutado.

⁹ Fuente: Universidad de Valencia, curso *Sistemas Electrónicos de Alimentación*, 2003.

La siguiente tabla resume las ventajas y desventajas más importantes de los reguladores conmutados.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> • Mayor rendimiento (60 – 90)% • Mayor tolerancia a las variaciones de línea • Mayor densidad de potencia • Empleo de alta frecuencia reduce tamaño y peso • Rápidos tiempos de respuesta transitoria (20µs) 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor complejidad • Posibilidad de interferencia electromagnética • Menor regulación de línea y de carga • Tiempo de respuesta transitoria mayor (300µs) • Mayor rizado y ruido

Tabla 6¹⁰. Ventajas y desventajas de los reguladores conmutados.

3.8.3 Clasificación de los reguladores conmutados. A diferencia de los reguladores lineales, los reguladores de switcheo pueden ser clasificados de acuerdo a la relación entre los niveles de tensión de entrada y salida de la siguiente forma:

- ❖ **Elevadores** (*Step – up*): Permiten aumentar la tensión de salida respecto de la entrada hasta en un factor de 10.
- ❖ **Reductores** (*Step – down*): Su tensión de salida nunca puede ser mayor que la de la entrada.

3.8.4 Selección de reguladores de voltaje. Para la selección de los reguladores empleados en este sistema se tuvieron en cuenta eficiencia y requerimientos del sistema.

El diseño electrónico requiere de dos niveles de tensión diferentes: 5V para el amplificador de audio (obtener una potencia de 2 Watts) y 3.3 V para el sistema

¹⁰ Fuente: Universidad de Valencia, curso *Sistemas Electrónicos de Alimentación*, 2003.

grabador / reproductor de mensajes (ISD4003-8M y HC908GP32), de aquí el hecho de emplear dos reguladores.

Dado que en los reguladores lineales la tensión de entrada debe ser superior a la de salida, se haría obligatorio el uso de 2 baterías (tipo Li –ión de 3.6V cada una) para poder suministrar los 5V requeridos en la etapa de audio. De modo que aparte de incrementarse el costo en elementos, la pérdida de potencia sería elevada y se desperdiciaría energía de las baterías opacándose los esfuerzos en la optimización de la etapa de amplificación (empleo de un amplificador clase D). En consecuencia el uso de reguladores switcheados es la mejor opción dado que mediante elevadores o reductores de voltajes es posible, utilizando una sola batería, obtener los niveles de tensión para el funcionamiento del entrenador auditivo.

● REGULADOR DE SWITCHEO *STEP – UP*

Para la alimentación de la etapa de audio se seleccionó el circuito integrado LTC3426. Sus principales características son:

- Frecuencia de switcheo de 1.2MHz.
- Salida de voltaje de hasta 5.5V.
- Rango de voltaje de entrada de 1.6V – 4.3V.
- Requiere pocos componentes externos.
- Suministro de 5V y 900mA a 3.6V de entrada.
- Alta eficiencia.
- Frecuencia constante facilita el filtrado del ruido a la salida.

La figura 25 muestra el circuito implementado.

La tensión de salida está determinada por un divisor resistivo como lo indica la siguiente ecuación:

$$V_{OUT} = 1.22V \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

Seleccionando $R_2 = 30.9k$ se obtiene que $R_1 = 95.3k$.

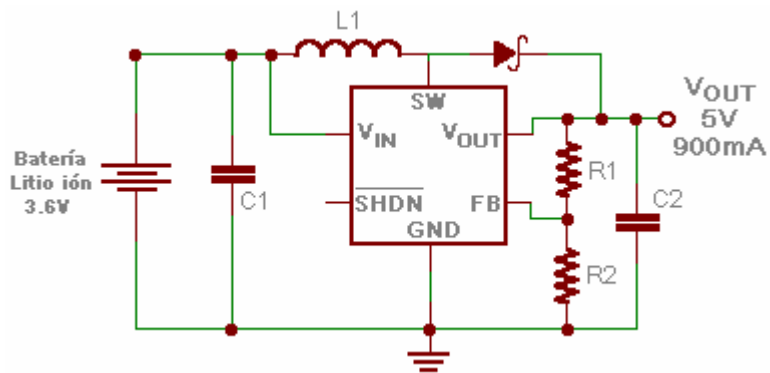


Figura 25. Regulador switchheado *step – up*.

El condensador C_1 a la entrada del regulador reduce los picos de corriente y el ruido de switcheo que se podrían originar en la fuente de alimentación. El condensador C_2 minimiza el rizado y fluctuaciones que se presentan en la tensión de salida.

El valor de la inductancia $L1$ es de $2.2\mu\text{H}$, valor estimado y recomendado por el fabricante. La selección de la corriente máxima que puede soportar esta inductancia depende de los valores picos de corriente que se puedan generar al interior del regulador (aproximadamente 2A). De esta manera se evita la saturación del núcleo de estas bobinas.

● **REGULADOR DE SWITCHEO *STEP – DOWN***

Para la alimentación del sistema grabador / reproductor de mensajes se seleccionó el circuito integrado LTC3406. Sus principales características son:

- Frecuencia de operación de 1.5MHz.
- Corriente de salida máxima de 600 mA.
- Rango de voltaje de entrada de 2.5V – 5.5V.
- Requiere pocos componentes externos.
- Suministro de 3.3V y 400mA a 3.6V de entrada.
- Alta eficiencia.
- No requiere diodo Schottky.

La figura 26 muestra la aplicación básica del circuito LTC3406.

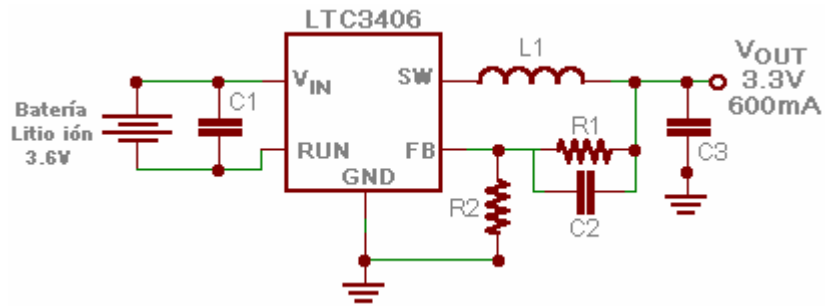


Figura 26. Regulador switchado *step – down*.

Para la selección de los componentes externos se deben tener en cuenta los requerimientos de la carga; se comienza con la selección de la inductancia seguido por las resistencias de la realimentación y finalmente los condensadores de entrada y salida.

El valor de la inductancia depende de la corriente de rizo (ΔI_L) estimada, del voltaje de salida y del voltaje de entrada como se muestra en la siguiente ecuación:

$$L = \frac{1}{f * \Delta I_L} V_{OUT} \left(1 - \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} \right)$$

El voltaje de entrada es suministrado por una batería Litio – Ión, por lo que su valor oscilará entre un máximo de 4.1V y un mínimo de 3.6V; el voltaje de salida requerido es de 3.3V y se estima que en un caso extremo la máxima corriente de carga es 500mA. El fabricante recomienda que la corriente de rizo sea aproximadamente el 40% de la corriente máxima de carga ($\Delta I_L = 200\text{mA}$), por ello:

$$L = \frac{3.3}{1.5 \times 10^6 \times 200 \times 10^{-3}} \times \left(1 - \frac{3.3}{4.1} \right) = 2.146 \mu H$$

Se seleccionó un valor comercial de inductancia, $L = 2.2\mu H$. La máxima corriente que esta bobina puede soportar es de aproximadamente 1A dado que se pueden presentar picos de corriente en el regulador de valores algo cercanos.

El voltaje de salida está determinado por un divisor resistivo según la siguiente fórmula:

$$V_{OUT} = 0.6V \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

Seleccionando $R_2 = 66.5k$ se obtiene que $R_1 = 301k$.

En cuanto a los condensadores, su función es la misma que en el regulador LTC3426.

4. CARGADOR DE BATERÍA

Aunque el objetivo primordial que ha guiado el desarrollo de este trabajo es el diseño e implementación de un entrenador auditivo, se decidió complementar el equipo con un cargador que suministre la energía necesaria a la batería recargable que se emplea como fuente de alimentación.

En este orden de ideas este capítulo presenta a grosso modo los métodos de carga, la selección de dispositivos y el diseño de las etapas necesarias para el funcionamiento del cargador de baterías Litio-Ion.

4.1 MÉTODOS DE CARGA DE BATERÍAS

Existen básicamente dos métodos de carga de baterías:

❖ Corriente constante

Se aplica una corriente constante a la batería de cuyo valor depende el tiempo de carga. De esta manera, existen dos modalidades:

- 📌 **Carga lenta:** Consiste en entregar una corriente constante de aproximadamente el 10% del valor de la capacidad / hora (C) de la batería. Por lo general se denomina 'carga nocturna' debido a su larga duración.

La modalidad de carga lenta es en realidad un compromiso entre mantener un cargador relativamente sencillo y cargar las baterías en una cantidad aceptable de tiempo, entre 14 y 16 horas aproximadamente. La gran desventaja de este tipo de carga, además de su duración prolongada, es que se debe advertir su finalización dado que se podría correr el riesgo de estropear la batería.

- Ⓢ **Carga rápida:** En este tipo de carga, se entrega una corriente constante cuyo valor se encuentra entre el 50% y 100% de la capacidad / hora (C) de la batería. Al entregar mayor corriente se incrementa su temperatura, sin embargo, no de manera significativa. La desventaja de la carga rápida es que requiere de un sistema preciso de detección de carga completa, más aún cuando se trata de baterías de litio-ion.

❖ Pulsos de corriente

A partir de una tensión pulsante se producen pulsos de corriente, lo que, según los fabricantes de baterías permite una carga más rápida, aunque no tan profunda como la descrita anteriormente. Por lo general esta técnica es empleada para evitar la descarga de baterías

4.2 PROCESO DE CARGA PARA BATERÍAS LI-ION

El proceso de carga típico para las baterías Li-ion se muestra en la figura 27.

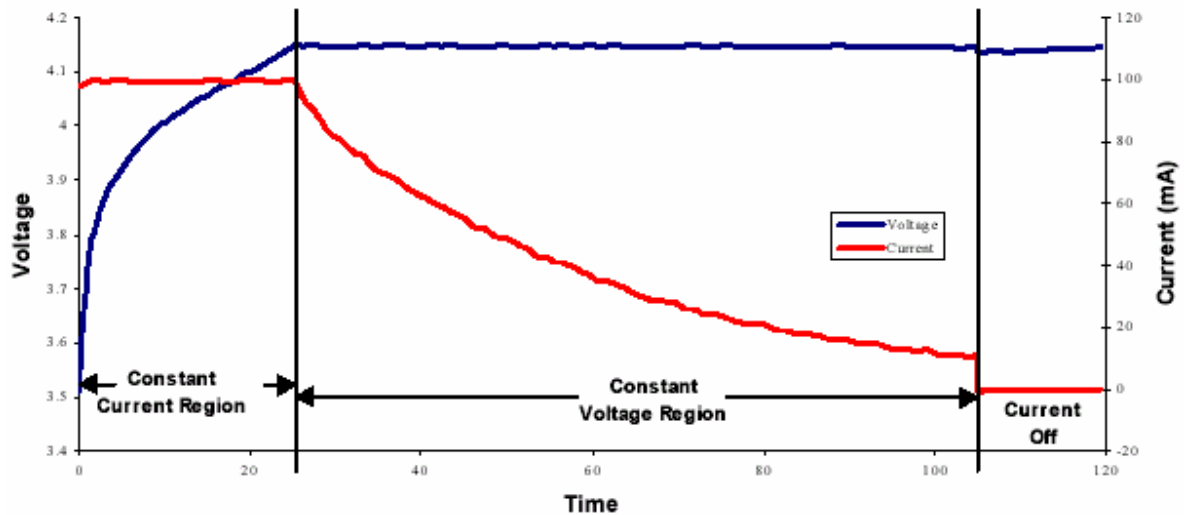


Figura 27¹¹. Curva típica del proceso de carga de baterías tipo Litio – Ion empleando técnicas de corriente constante y voltaje constante.

¹¹ Tomado de "Battery Fundamentals", presentado por Centurion Wireless Technologies, Inc.

Inicialmente se entrega una corriente constante a la batería permitiendo que la tensión en sus terminales se incremente progresivamente hasta alcanzar un valor de aproximadamente 4.2V (por celda). A partir de este valor, se mantiene la tensión constante y se disminuye la corriente de carga hasta obtener aproximadamente el 20% de la corriente nominal (0.2C).

4.3 ESPECIFICACIONES DE CARGA

El cargador se diseñó para baterías que cumplen las siguientes especificaciones:

- Tecnología de baterías: Litio-ion.
- Número de baterías: 2.
- Voltaje nominal^{*}: 3.6V o 3.7V (Ajustable manualmente).
- Corriente de carga máxima: Igual o superior a 1A.
- Capacidad: Superior a 1Ah^{**} (Considerando que para baterías Li-ion la máxima tasa de carga es típicamente 1.5C).

El equipo posee leds indicadores de encendido y finalización del proceso de carga, adicionalmente posee una interfaz para el usuario que permite determinar la ausencia o inserción de batería, la etapa en la cual se encuentra la carga y errores en el proceso.

4.4 SELECCIÓN DEL CIRCUITO INTEGRADO

Considerando la alta precisión de control que requieren las baterías de Litio-Ion y buscando disponer de un cargador seguro, preciso y que pueda cumplir con las especificaciones de carga, se decidió emplear un circuito integrado cargador de baterías, evitando de esta manera disponer de circuitos complejos y tal vez poco confiables a partir de elementos discretos.

* El voltaje máximo para baterías de 3.6V y 3.7V es de 4.1V y 4.2V respectivamente.

** Se pueden utilizar baterías de menor capacidad si soportan tasas de cargas mayores.

Se seleccionó el LM3647 como circuito integrado de carga, considerando entre otras, las siguientes características:

- Carga rápida auto ajustable.
- Monitoreo preciso de voltaje que previene sobrecarga o baja carga (característica importante en baterías de Li-Ion).
- Finalización del proceso de carga por incrementos excesivos en temperatura, voltaje y tiempo, así como también por variaciones negativas de voltaje.
- Detección automática de:
 - ◆ Inserción de baterías.
 - ◆ Extracción de baterías.
 - ◆ Corto circuitos.
 - ◆ Baterías en mal estado.

4.5 CIRCUITO INTEGRADO LM3647

El LM3647 es un controlador de carga para baterías basadas en tecnologías Ni-Cd (Níquel Cadmio), Ni-MH (Níquel Metal Hidrido) y Li-Ion (Litio-Ion). Alternativamente ofrece técnicas de carga por corriente constante o pulsos de corriente, incluyendo proceso de pre-carga, carga rápida, y mantenimiento de carga. Además incluye la posibilidad de descargar la batería previamente al proceso de carga normal.

Los parámetros que el LM3647 considera para la finalización de carga son:

- ✓ Decremento en el voltaje de la batería ($-\Delta V$).
- ✓ Máximo voltaje.
- ✓ Máximo tiempo de carga.
- ✓ Variación temperatura / variación tiempo ($\Delta T/\Delta t$) [Opcional].
- ✓ Máxima temperatura [Opcional].

Todas estas características, incluyendo su flexibilidad, lo hacen adecuado como dispositivo de carga.

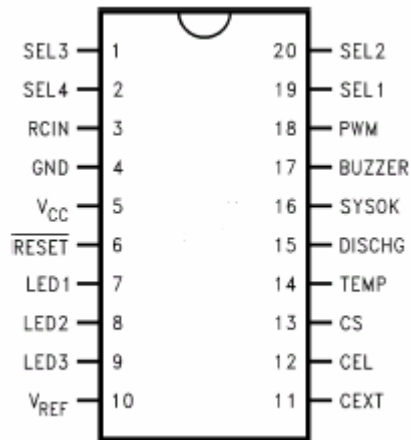


Figura 28. Diagrama de conexiones del LM3647.

4.5.1 Proceso de carga. Se decidió emplear el proceso de carga rápida para poder disponer de las baterías en un tiempo relativamente corto después de iniciado el proceso. Para llegar a ello, y considerando la precisión que requieren las baterías de litio-ion, se debió implementar una fuente de corriente retroalimentada que permite sensar la corriente suministrada y la tensión en las baterías, con el fin de cumplir con el proceso de carga típico en este tipo de baterías.

El proceso de carga empleado por el LM3647 para baterías de Litio-Ion consta de las siguientes etapas:

- ❖ **Calificación:** En esta etapa el LM3647 detecta la conexión de una batería y verifica que la temperatura se encuentra dentro de un rango operable. La carga empieza con una corriente de $0.2C^*$ ($V_{CS}^{**} = 2.3\text{ V}$) y continua con la siguiente fase después de aproximadamente 1 minuto. Si transcurrido este tiempo, el voltaje de la batería no alcanza el umbral preestablecido ($V_{CEL}^{***} < 1.2\text{V}$), el dispositivo entrará en modo de error.

* C es la capacidad / hora de la batería, en unidades de mA.

** V_{CS} corresponde al voltaje en el pin 13 del integrado (CS), entrada mediante la cual se sensa la corriente.

*** V_{CEL} corresponde al voltaje en el pin 12 del LM3647 (CEL), entrada que mide el voltaje de la batería a través de un divisor resistivo.

- ❖ **Carga rápida fase 1 (Corriente constante):** En esta etapa el voltaje de la batería se incrementará hasta que alcance el voltaje máximo de batería, V_{MAX} ($V_{CEL} = 2.675V$).
- ❖ **Carga rápida fase 2:** En esta etapa se mantiene el voltaje constante hasta que la corriente de carga disminuya por debajo de un umbral preestablecido ($V_{CS} = 2.3V$).
- ❖ **Mantenimiento de carga:** Opcionalmente el integrado permite una carga ligera de la batería posterior al proceso de carga. El valor de la corriente es ajustable y corresponde a un porcentaje de la corriente de carga nominal. Con esta etapa se busca evitar la descarga de la batería.

El diagrama de flujo que describe de manera más detallada el proceso de carga del LM3647 para baterías de litio-ión se muestra en la figura 29 (Página siguiente).

4.5.2 Funcionamiento del LM3647. Las baterías de Litio-Ion requieren control sobre el voltaje y corriente de carga, por consiguiente se hizo necesario contar con una fuente de corriente retroalimentada que permite sensar la corriente que se suministra a la batería y a partir de este valor se determina si se proporciona más o menos corriente. El circuito que se implementó como fuente de corriente se muestra en la figura 30 (Página 74).

El LM3647 controla el suministro de corriente constante a un conjunto de baterías dispuestas en serie. El control del flujo de corriente se hace por medio de un PWM –configurado en ‘modo rápido’, $f=250Hz$ - cuyo valor medio incrementa o decrementa la corriente de emisor de un par Darlington, ésta corresponde a la corriente de carga.

La corriente de carga fluye a través de una resistencia de sensado, R_5 , cuya tensión es incrementada por un amplificador de diferencia, y finalmente este valor es proporcionado al integrado a través de la entrada CS . A partir de la tensión en esta entrada de control, el LM3647 regula la corriente que es entregada a las baterías por medio del ciclo útil del PWM.

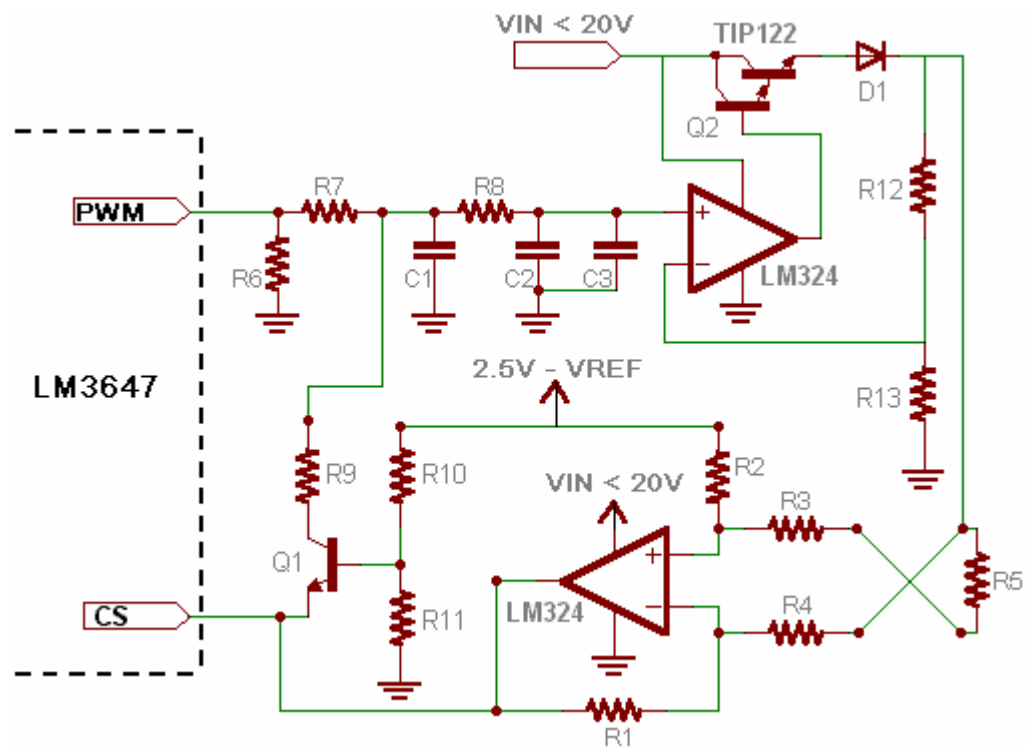


Figura 30. Fuente de corriente retroalimentada.

● **CIRCUITO DE SENSADO DE CORRIENTE (AMPLIFICADOR DE DIFERENCIA):**

Esta etapa de retroalimentación permite sensar y controlar la corriente que fluye hacia las baterías. De esta manera se puede entregar un valor de corriente determinado a las baterías dependiendo de la fase de carga en la que se encuentre.

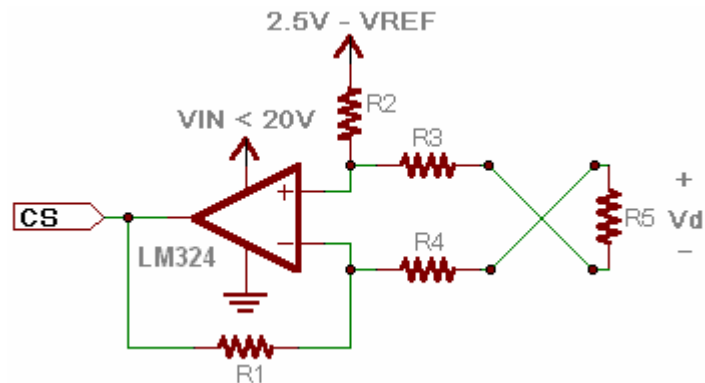


Figura 31. Amplificador de diferencia.

El amplificador de diferencia invierte e incrementa el nivel de tensión (diferencial) presente en la resistencia R5, sumando a este nivel, el voltaje de referencia $V_{ref} = 2.5V$. Así, la tensión de salida está dada por:

$$V_{CS} = -Vd \cdot \frac{R_1}{R_4} + V_{REF} \quad \text{con } R_1 = R_2 \text{ y } R_3 = R_4$$

Según las especificaciones eléctricas del LM3647, el voltaje en el pin CS cuando se entrega la máxima corriente a la batería (*carga rápida fase 1*), debe ser 1.5V. Por lo tanto, se debe cumplir que:

$$1.5 = -Vd_{CARGA} \cdot \frac{R_1}{R_4} + V_{REF}$$

$$Vd_{CARGA} = (V_{REF} - 1.5) \frac{R_4}{R_1} \quad \text{Para } I_{CARGA}$$

El valor de I_{CARGA} está dado por:

$$I_{CARGA} \cdot R_5 = (V_{REF} - 1.5) \frac{R_4}{R_1}$$

$$I_{CARGA} = (V_{REF} - 1.5) \frac{R_4 / R_1}{R_5}$$

Esta corriente se suministra a la batería durante el proceso de carga rápida fase 1.

El voltaje a través de la resistencia de sensado no debe ser tan pequeño dado que éste podría ser más sensible al ruido y al *offset* de la etapa de amplificación. Por el contrario, una tensión muy grande implicaría mayor potencia y por ende se generaría más calor. El fabricante recomienda una tensión cercana a 50mV a través de esta resistencia cuando circula la máxima corriente de carga. Esto es,

$$\frac{R_4}{R_1} = 50mV = Vd_{CARGA} \quad \text{Con } V_{REF} = 2.5V.$$

Seleccionando $R_1 = 100k\Omega$ y $R_4 = 5.1k\Omega$, se obtiene un voltaje de 51mV, valor adecuado para cumplir con los requerimientos.

La ganancia y resistencia de entrada del circuito están dadas por:

$$R_{IN} = 10.2k\Omega$$

$$\frac{V_o}{V_d} = -19.608V/V$$

Por lo tanto, los valores de resistencias seleccionados se consideran adecuados para garantizar el correcto sensado de la corriente que se le entrega a la batería.

Seleccionando una corriente de carga máxima de $I_{CARGA} = 1 \text{ A}$, se tiene un valor de R_5 de:

$$R_5 = 0.051\Omega$$

cuya potencia disipada es de 51mW.

La etapa de carga rápida fase 2 se finaliza cuando el voltaje en el pin CS , alcanza el valor de 2.3 V, es decir, cuando la corriente de carga disminuye a un valor de:

$$I_{CARGA_{MIN}} = (V_{REF} - 2.3) \frac{R_4/R_1}{R_5}$$

Cuando la corriente alcanza este valor, se finaliza la carga rápida fase 2.

$$I_{CARGA_{MIN}} = 200mA$$

● PWM (FILTRO PASABAJOS)

El filtro pasabajos permite obtener la componente de continua o valor medio del PWM, de esta manera se controla la corriente que se suministra a la batería a partir del ciclo útil del PWM generado al interior del LM3647.

Para lograr extraer la componente de continua y al mismo tiempo garantizar un buen nivel de atenuación de los armónicos del PWM, se implementó un filtro pasivo RC de segundo orden, como el que se muestra en la figura 32:

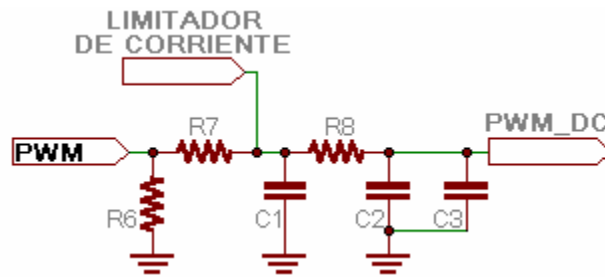


Figura 32. Filtro pasabajos de segundo orden.

La resistencia R_6 permite drenar la corriente que resulta de posibles niveles de DC cuando el integrado aún no tiene control del PWM.

La frecuencia fundamental del PWM es de 250 Hz, por lo tanto se debe garantizar que los polos del filtro pasabajos estén ubicados mucho antes para lograr un filtrado adecuado. Los valores de los componentes del filtro mostrados en la siguiente figura garantizan esta condición.

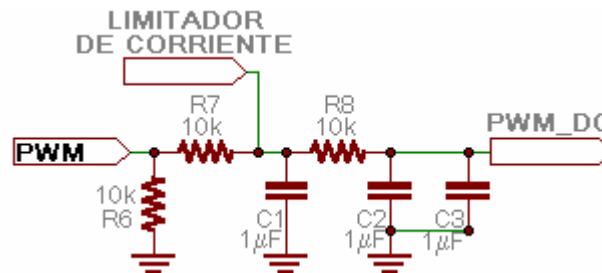


Figura 33. Filtro pasabajos implementado.

La función de transferencia de este filtro es:

$$\frac{V_0}{V_{IN}} = \frac{1}{0.2 \times 10^{-3} \cdot s^2 + 0.05 \cdot s + 1}$$

Los polos de este filtro están ubicados en:

$$f_1 = 21.92 \text{ Hz} \qquad f_2 = 36.3 \text{ Hz}$$

● ETAPA DE PROTECCIÓN

Se debió implementar una etapa de protección que impide el suministro de corriente excesiva a la batería cuando aparecen niveles pequeños de DC indeseados a la salida del PWM dado que podría ocasionar deterioro o en el peor de los casos, explosión.

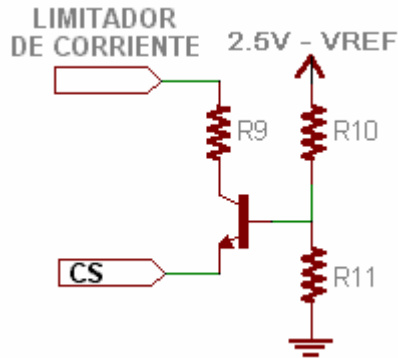


Figura 34. Circuito para protección de excesos de corriente.

La etapa de protección consta de un transistor que al activarse deshabilita el PWM y por ende, el abastecimiento de corriente a la batería. Considerando que la resistencia vista desde la base del transistor es elevada, el voltaje de base se puede aproximar a:

$$V_B = \frac{2.5 \cdot R_{11}}{R_{10} + R_{11}}$$

Para que el transistor se encienda, el voltaje de emisor –que el mismo voltaje del pin CS- debe ser de:

$$V_{CS} = \frac{2.5 \cdot R_{11}}{R_{10} + R_{11}} - 0.7$$

Seleccionando una corriente de carga máxima de **1.5 A**, a partir de la cuál se deshabilita la carga de la batería, se tiene que:

$$V_{CS} = -I_{CARGA} \cdot R_5 \cdot \frac{R_1}{R_4} + 2.5$$

$$V_{CS} = 1V$$

por lo tanto, el arreglo resistivo está dado por:

$$\frac{R_{11}}{R_{10} + R_{11}} = 0.68$$

Seleccionando $R_{11}=51\text{k}\Omega$, resultaría un valor de $R_{10}=75\text{k}\Omega$

El transistor se mantiene apagado mientras ocurre el proceso de carga normal dado que el mínimo voltaje que el emisor alcanzaría sería 1.5 V (carga rápida fase 1), y el voltaje de base es de solo 1.2 V.

● CIRCUITO DE SENSADO DE VOLTAJE

El objetivo de esta etapa es determinar el nivel de tensión presente en los terminales de la batería para poder controlar la fase de carga adecuada.

El voltaje en los terminales de la batería es sensado por medio del pin *CEL* del LM3647 a través de un divisor de tensión. Dado que las baterías de Lítio-Ion requieren precisión en el sensado del voltaje, el arreglo resistivo fue seleccionado con precaución para evitar deterioro y asegurar la protección y máxima utilización de las baterías. Esto debido a que se podría correr el riesgo de que cuando el integrado detecte el umbral de finalización ($V_{CEL}=2.675\text{V}$), el voltaje en los terminales de la batería sea menor que el máximo voltaje que ésta pueda alcanzar (8.2V, considerando 2 baterías) y no se carga totalmente, o en el peor de los casos este voltaje sea mayor y la batería se estalle.

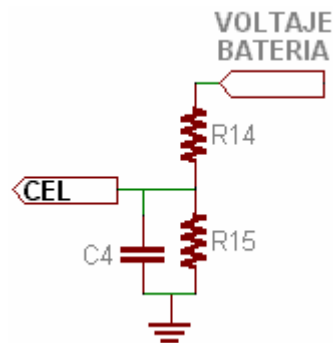


Figura 35. Circuito de sensado de voltaje en las baterías.

Para mayor seguridad, se ajustó la tensión en el pin *CEL* en un valor mayor que 2.675V cuando la batería contiene la máxima carga posible, $V_{MAX}=8.2\text{V}$. Con esto en mente, se debe cumplir:

$$8.2 \cdot \frac{R_{15}}{R_{14} + R_{15}} > 2.675$$

Con valores de $R_{15} = 33k$ y $R_{14} = 68k$, la tensión en el pin V_{CEL} es:

$$V_{CEL} = 2.6792V$$

Con este arreglo resistivo se garantiza un adecuado sensado del voltaje de carga y adicionalmente protección.

● FUENTE DE CORRIENTE

El objetivo de esta etapa es entregar el valor de corriente establecido en cada una de las fases de carga.

El amplificador operacional en configuración no inversora incrementa el nivel de DC entregado por el filtro pasabajos y determina la cantidad de corriente que fluye hacia las baterías. El par Darlington de potencia funciona como un *buffer* que amplifica la corriente entregada por el operacional; reduce la excitación de corriente de base dado que cuenta con un valor de β elevado. De esta manera es posible entregar la corriente suficiente para las posibles exigencias de las baterías. Se escogió el TIP 122 como par Darlington principalmente por que puede suplir las exigencias de corriente del sistema de carga, pudiendo entregar una corriente máxima de colector de $I_{C_{MAX}} = 5 \text{ A}$, adicionalmente, el valor de $\beta = 1000$ minimiza en gran medida la cantidad de corriente que el amplificador operacional debe entregar a la base del transistor. Asimismo el voltaje de colector-emisor máximo que puede soportar es de 100 V , dándole entera protección en esta aplicación.

Por otro lado, se escogió el LM324 para cumplir la función de amplificación esencialmente porque puede suplir cómodamente los requerimientos de corriente del TIP122 cuando las baterías demandan la máxima corriente ($I_{CARGA} = 1A$, $I_O \approx 1mA$).

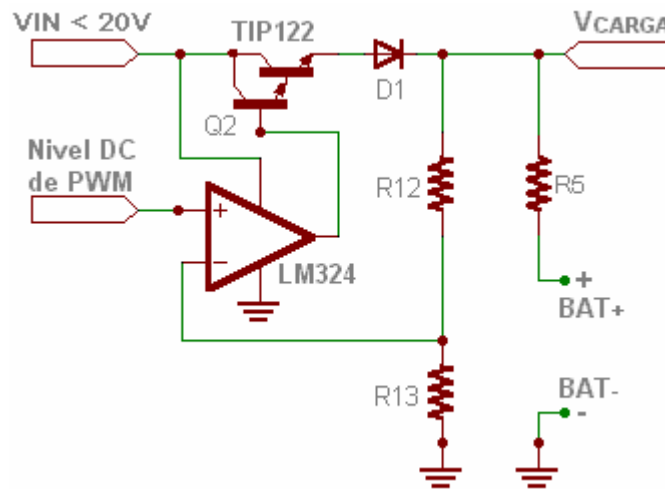


Figura 36. Fuente de corriente.

El PWM inicialmente comienza a ampliar su ciclo útil permitiendo que el valor de la tensión en la entrada no inversora se incremente de igual forma. De esta manera, se hace variar el PWM hasta que en la resistencia de sensado R_5 exista una caída de 50mV, valor preestablecido en la etapa de sensado de corriente. De hecho, esta caída de tensión depende igualmente del voltaje presente en la batería:

$$V_{R5} = V_{CARGA} - V_{BATERÍA} = 50mV$$

Cuando se alcanza este umbral, el pin CS adquiere el valor de 1.5V, estado a partir del cuál el LM3647 mantiene el ciclo útil del PWM. El cargador tenderá a mantener este valor -controlando el PWM- a pesar de los incrementos progresivos del voltaje de la batería.

❖ Fase de calificación

Cuando el cargador ingresa a esta etapa, entrega a las baterías una corriente igual al 20% de la corriente nominal, en este caso, 200mA. Esto lo logra regulando el PWM de la misma forma en que lo hace cuando inicia carga rápida (descrito anteriormente) sólo que esta vez la corriente se mantiene constante cuando en la resistencia R_5 se presenta una caída de tensión de aproximadamente 10.2mV. Este proceso persiste alrededor de un 1 minuto.

❖ Diseño

La ganancia del amplificador operacional, en configuración no inversora está dada por:

$$V_{CARGA} = V_{IN} \cdot \left(1 + \frac{R_{12}}{R_{13}} \right)$$

En el peor de los casos, $V_{BATERÍA} = 8.2 \text{ V}$ (baterías cercanas a carga completa) y $V_{DC-PWM} = 5 \text{ V}$ (ciclo útil de PWM = 100%). Se pretende que para valores de V_{DC-PWM} menores de 5 V se pueda suministrar la corriente adecuada a las baterías, o en su defecto $V_{CARGA} > V_{BATERÍA}$. Para lograr esto se seleccionó un rango de seguridad de 2 V que pudiese garantizar el proceso de carga en el peor de los casos, es decir:

$$V_{CARGA} = 10 \approx V_{BATERÍA-MÁX} + 2$$

Con esto resulta $R_{12} = R_{13}$ y una ganancia de 2V/V.

Para obtener esta relación se seleccionaron valores de resistencias de 10kΩ.

● SENSADO DE TEMPERATURA

Otra alternativa para la finalización del proceso de carga es el nivel de temperatura que presenta la batería antes y durante este proceso, y para su sensado se seleccionó el circuito integrado LM35D. Entre sus principales características se encuentran:

- Salida de voltaje linealmente proporcional a la temperatura medida en °C.
- No requiere elementos externos.
- Rango de temperatura de 0 – 100 °C.
- Voltaje de salida de 250mV a temperatura ambiente (25°).
- Factor de escala de 10mV/°C.

Es importante resaltar que el voltaje en la entrada “TEMP” del LM3647 debe estar entre 2.2V y 0.5V para comenzar el proceso de carga y debe ser menor de 3V durante la recarga, si se excede este nivel de temperatura el integrado entrará en modo de error y se dará por terminado el proceso.

Fase de carga	Estado LED1	Estado LED2	Estado LED3
No hay batería	Apagado	Apagado	Apagado
Inserción de batería y comprobación de temperatura	Intermitencia rápida	Apagado	Apagado
Fase de calificación	Intermitencia lenta	Apagado	Apagado
Carga rápida fase 1 (Corriente Constante)	Encendido	Intermitencia lenta	Apagado
Carga rápida fase 1 (Voltaje Constante)	Encendido	Intermitencia rápida	Apagado
Mantenimiento de carga	Encendido	Apagado	Encendido
Error de temperatura	2 destellos rápidos	Apagado	Encendido
Error	Intermitencia rápida	Apagado	Intermitencia rápida

Tabla 7. Interfaz del usuario.

5. ALGORITMOS DE CONTROL

Para el control del circuito integrado ISD4003-8M, el teclado matricial y los elementos auxiliares es necesario establecer un algoritmo de comunicación que garantice un buen funcionamiento del sistema electrónico.

Este capítulo presenta una descripción general del programa empleado para el control del entrenador auditivo. Primero se resumen algunos elementos teóricos necesarios para la configuración del módulo SPI* del microcontrolador, las características y particularidades del sistema; y posteriormente, mediante un diagrama de flujo se explica la rutina diseñada.

5.1 MODULO SPI

El SPI es un módulo de comunicación serie, síncrono y bidireccional. El SPI puede ser configurado para operar en modo maestro o en modo esclavo. En específico, el microcontrolador operando en modo maestro genera un reloj configurable en polaridad y fase.

La interfaz SPI tiene 4 pines de control entrada / salida:

1. **SS:** Permite seleccionar la forma de trabajo del dispositivo ya sea como maestro o esclavo, dependiendo de su estado lógico.
2. **MOSI:** Pin de salida del maestro, entrada del esclavo.
3. **MISO:** Pin de entrada del maestro, salida del esclavo.
4. **SCLK:** Reloj serial proporcionado por el maestro para el envío de datos al dispositivo esclavo.

* SERIAL PERIPHERAL INTERFACE

El puerto de control SPI de la serie ISD4003, admite el envío de órdenes simples que permiten dirigir el funcionamiento completo del dispositivo con un número mínimo de ciclos de control. En este trabajo el microcontrolador se configuró como “maestro” y se constituye en el dispositivo de control del ISD4003.

5.1.1 Protocolo de comunicación del ISD4003. El siguiente protocolo describe la operación de la interfaz serial SPI de la serie ISD4003:

- El protocolo de transferencia de datos establece que éstos se introducen al ISD4003 con el flanco de subida y salen del mismo con el flanco de bajada del SCLK.
- Cada operación que acaba en un EOM* o un OVF** del ISD generan una interrupción que puede ser leída a través del pin *INT*.
- El código de control enviado por el microcontrolador a través del pin MOSI consta de 16 bits, 11 bits de dirección y 5 bits de control, como se muestra en el siguiente diagrama.

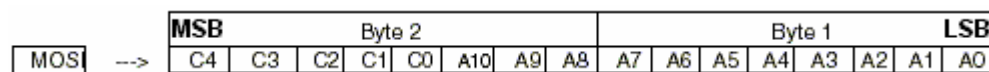


Figura 39. Bits de control del ISD4003.

- El ISD4003 permite conocer la dirección en la cuál ha encontrado un EOM o un OVF. Para ello se envían 16 bits a través del pin MISO, cuya secuencia se muestra en la siguiente figura.

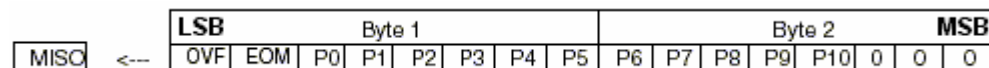


Figura 40. Bits de información del ISD4003.

* END OF MESSAGE, marcas al interior del integrado que indican la finalización de un mensaje.

** OVERFLOW, punto en el que se alcanza el final de la memoria, ya sea en el proceso de reproducción o grabación.

- Todos los ciclos de transferencia de datos al ISD4003 empiezan con el flanco de bajada del pin SS y terminan con el flanco de subida. Cualquier número de bits puede ser desplazados en el puerto SPI en un ciclo de entrada (pin SS a nivel bajo), sin embargo, son los últimos cinco bits introducidos al pin MOSI los que determinan la operación a realizar. La siguiente figura ilustra el proceso.

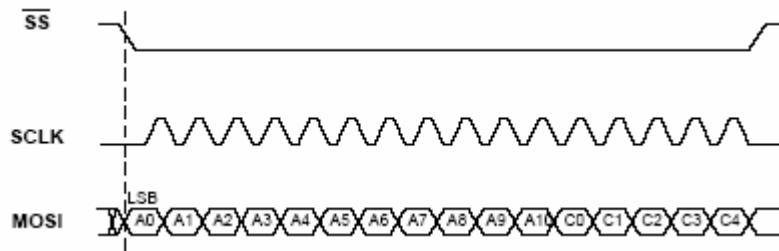


Figura 41. Ciclo de entrada.

● DIAGRAMA DE FLUJO

El proceso de transferencia de datos al ISD4003 se sintetiza en el siguiente diagrama de flujo:

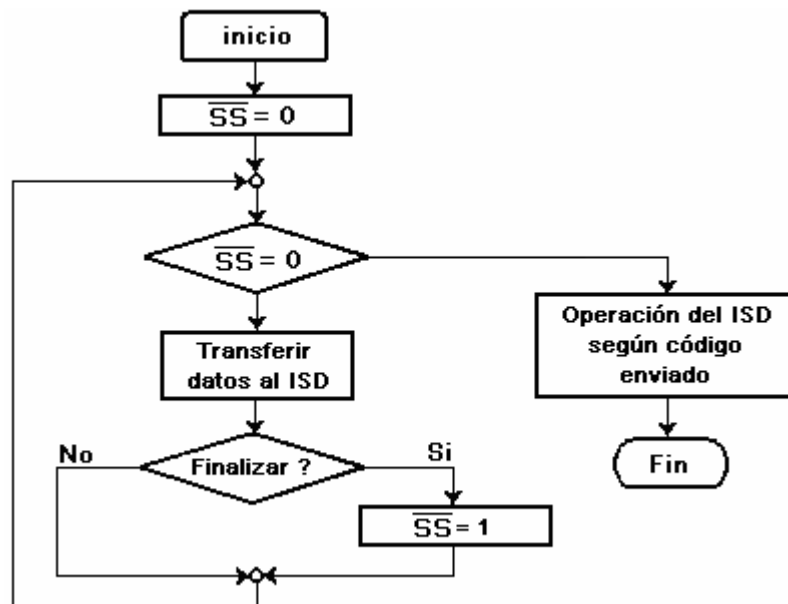


Figura 42. Proceso de transferencia de datos.

5.1.2 Registro de control del Puerto SPI. A través del registro de control del ISD4003 es posible dirigir individualmente las funciones de grabado y reproducción, ya sea desde la posición de memoria actual o desde una dirección indicada; adelanto de mensajes, activación y desactivación del dispositivo.

Existen cinco bits asociados con el control del dispositivo, estos son:

- ❖ **C0 = Message Cueing (MC):** Durante una operación de reproducción permite el adelanto rápido del mensaje hasta el punto donde se encuentre la siguiente marca EOM.
- ❖ **C1 = Ignore Address Bit (IAB):** Cuando este bit se fija a nivel alto (1), los datos de dirección enviados son ignorados y la siguiente operación de grabación, reproducción o adelanto de mensajes comenzará en la dirección de memoria en la cual se finalizó la operación inmediatamente anterior. En caso contrario, cuando este bit es fijado a nivel bajo (0), la operación de reproducción o grabación comienza en la dirección indicada por los bits correspondientes en la orden enviada.
- ❖ **C2 = Power up (PU):** Cuando este bit es un alto, después de un pequeño tiempo de retardo (T_{PUD}^*) el dispositivo se activa y está listo para realizar cualquier operación.
- ❖ **C3 = Grabar o Reproducir (P/\bar{R}):** Permite seleccionar el tipo de operación a realizar, ya sea grabar o reproducir un mensaje.
- ❖ **C4 = Habilitar o deshabilitar una operación:** Una operación comienza con este bit en alto (1) y finaliza con un bajo (0).

La siguiente tabla resume las posibles opciones y funcionamiento de estos registros de control.

* Aproximadamente 50 ms para la frecuencia de muestreo de 4 kHz correspondiente al ISD4003-8M [Ver anexo A].

BIT DE CONTROL	REGISTRO	BIT	FUNCIÓN
C0	MC = =	1 0	Adelanto de mensaje Habilitado Deshabilitado
C1	IAB = =	1 0	Ignorar dirección Ignorar el registro de dirección (A0 – A10) Usar el registro de dirección (A0 – A10)
C2	PU = =	1 0	Activación Activar Desactivar
C3	P/ \bar{R} = =	1 0	Grabar o Reproducir Reproducir Grabar
C4	RUN = =	1 0	Habilitar o deshabilitar una operación Iniciar Terminar
Dirección	A0 – A10		Registro de dirección

Tabla 8¹². Registros de control de SPI.

● CÓDIGOS DE OPERACIÓN

Los códigos de operación que se utilizaron en la elaboración de los algoritmos para el control del entrenador auditivo se registran en la tabla 9.

Instrucción	Código de operación					Descripción	
	Dirección [A0 – A10]	Bits de control C0 C1 C2 C3 C4					
POWERUP	0000000000	0	0	1	0	0	Activa el dispositivo
SETPLAY	A0 – A10	0	0	1	1	1	Reproduce en la dirección indicada
SETREC	A0 – A10	0	1	1	1	1	Graba en la dirección indicada
STOPPWRDN	0000000000	0	1	0	0	0	Detiene la operación actual y coloca el dispositivo en modo de bajo consumo

Tabla 9. Códigos de operación utilizados.

¹² Fuente: Hoja de datos de la serie ISD4003, Winbond Electronics, Enero 2004.

5.2 SECUENCIA DE PROGRAMACIÓN PARA LA OPERACIÓN DEL ISD4003-8M

Los pasos que se siguieron en la programación del microcontrolador, con el fin de obtener una correcta grabación y reproducción en el ISD4003 son los siguientes:

❖ Grabación

1. Envío del comando **Powerup**.
2. Espera del tiempo de retardo de activación (T_{PUD}).
3. Envío del comando **Powerup***.
4. Espera de dos veces el tiempo de retardo de activación ($2 \times T_{PUD}$).
5. Envío del comando **Setrec** y la correspondiente dirección de memoria a grabar.
6. Envío del comando **Stoppwrn** para detener la grabación y habilitar el dispositivo en bajo consumo de energía.
7. Espera del tiempo de detención (T_{STOP}^{**}).

❖ Reproducción

1. Envío del comando **Powerup**.
2. Espera del tiempo de retardo de activación (T_{PUD}).
3. Envío del comando **Setplay** y la correspondiente dirección de memoria a reproducir.
4. Envío del comando **Stoppwrn** para detener la grabación y habilitar el dispositivo en bajo consumo de energía. En otro caso, el dispositivo espera hasta que se detenga automáticamente cuando un EOM es encontrado.
5. Espera del tiempo de detención (T_{STOP}).

* En algunos casos, un sonido de “detonación” puede presentarse en el comienzo de una secuencia de grabación inmediatamente después de la primera orden de activación; este sonido ocurre porque las entradas diferenciales del amplificador interno del ISD no se activan al mismo tiempo. Para ello un doble ciclo de activación hará que las entradas se polaricen adecuadamente y el ruido no se grabe en el integrado.

** Aproximadamente 100mS para el ISD4003-8M.

5.3 PROGRAMACIÓN

El diagrama de flujo presentado en la figura 43 corresponde al algoritmo de control elaborado para el funcionamiento del entrenador auditivo.

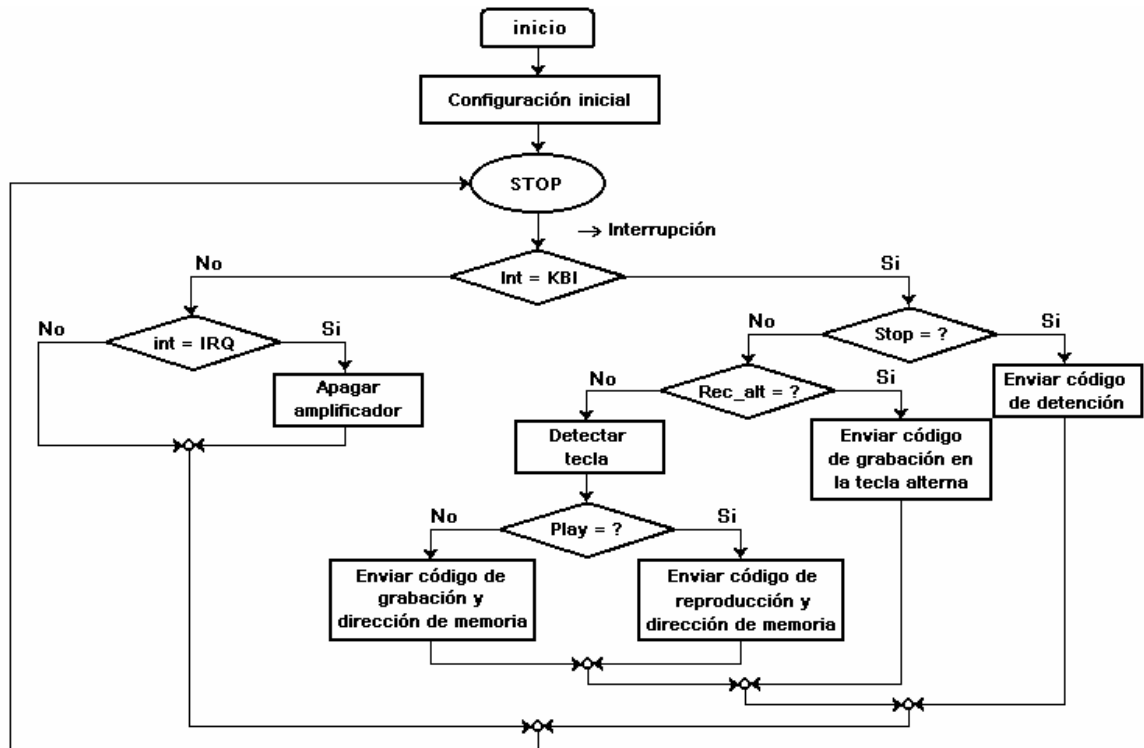


Figura 43. Diagrama de flujo del algoritmo de control del entrenador auditivo.

A continuación se explica detalladamente el funcionamiento de cada uno de los bloques.

5.3.1 Configuración inicial. En este bloque de programación se llevan a cabo los siguientes procesos:

- Programación de las tablas de códigos para el direccionamiento de cada tecla a la posición de memoria correspondiente en el ISD4003-8M.
- Declaración de puertos como entradas y salidas.

- Configuración de las interrupciones, KBI* e IRQ.
- Configuración del módulo SPI.

● CONFIGURACIÓN MÓDULO KBI

Para la configuración del módulo de interrupciones por teclado (KBI) se emplearon las siguientes líneas de programa que lo habilitan y al mismo tiempo previenen falsas interrupciones en el proceso de inicialización del módulo, mientras las entradas configuradas alcanzan un 1 lógico:

INTKBSCR_IMASKK=1; → Deshabilita las interrupciones KBI
 INTKBIER=0x7F; → Habilita los pines KBI
 INTKBSCR_ACKK=1; → Borra las peticiones KBI
 INTKBSCR_IMASKK=0; → Habilita las interrupciones KBI

● CONFIGURACIÓN INTERRUPCIÓN EXTERNA IRQ

La interrupción externa (IRQ) del microcontrolador se empleó para determinar la finalización de un mensaje en el ISD4003-8M. La configuración de esta interrupción se realizó mediante las siguientes instrucciones:

INTSCR_IMASK=1; → Deshabilita las interrupciones KBI
 INTSCR_ACK=1; → Borra las peticiones KBI
 INTSCR_IMASK=0; → Habilita las interrupciones KBI

● CONFIGURACIÓN MÓDULO SPI

La configuración del Módulo SPI se hizo con base a los requerimientos del ISD4003-8M mediante el siguiente bloque de instrucciones:

* KEYBOARD INTERRUPT MODULE

SPSCR=0x00; → SPR1=SPR2=0 Frecuencia de Reloj Maestro = Fbus/2
 SPCR_SPE =0; → Deshabilitar SPI.
 SPCR_SPRIE=0; → Deshabilita las Interrupciones del Registro de
 Recepción.
 SPCR_SPTIE=0; → Deshabilita las Interrupciones del Registro de
 Transmisión.
 SPCR_CPHA=1; → Fase = 1.
 SPCR_CPOL=1; → Polaridad => Flanco de Bajada.
 SPCR_SPMSTR=1; → Configurar microcontrolador como maestro.

5.3.2 Modo en bajo consumo de potencia [STOP]. En sistemas que operan con baterías -propósito de este comunicador- la eficiencia es esencial. El modo STOP es usado para minimizar el consumo de corriente cuando el microcontrolador no es empleado.

Se aprovechó la modalidad de bajo consumo de potencia del MC68HC908GP32 para incrementar la autonomía del sistema dado que se cuenta con un consumo típico de 1µA a 3µA. Básicamente los efectos generados en el microcontrolador son:

- El reloj de la CPU se desactiva.
- Se desactivan las interrupciones del temporizador.
- El reloj del bus opcionalmente se desactiva.
- Se inhibe el oscilador.
- Se activan las peticiones de interrupción externa (IRQ) y por teclado (KBI).

Se sale del modo STOP por un reset o por una interrupción externa. Cuando existe un Reset o la entrada de interrupción pasa a 0, se activa el oscilador y se inicia un retardo de 4096 ciclos CGMXCLK en el procesador para permitir que el oscilador se estabilice. El retardo existente cuando el microcontrolador se recupera de este proceso es de aproximadamente 0.83ms, valor poco significativo para propósitos de este sistema. Posteriormente se detecta el vector de petición de interrupción para que se ejecute la rutina de servicio de interrupción, que contiene el código para el control del ISD4003-8M.

No es necesario emplear la instrucción en assembler '*CLI*' para habilitar las interrupciones dado que al emplear STOP se habilitan automáticamente.

5.3.3 Interrupciones programadas. El algoritmo de control emplea dos tipos de interrupciones: por teclado y del IRQ.

● INTERRUPCIONES POR TECLADO

El GP32 incorpora las interrupciones por teclado denominadas KBI a través del puerto A. Estas entradas contienen resistencias de '*pullups*' que generan una interrupción cuando pasan a un nivel bajo, esto sucede cuando uno o más pulsadores del teclado se presiona. Cuando el microcontrolador se '*despierta*' de una interrupción de este tipo, atiende la rutina que permite determinar a cuál tecla en específico corresponde la interrupción.

❖ Detección de teclas

- **Teclas Alternas:** Inicialmente se determina si el origen de la interrupción corresponde a la acción de las teclas REC y STOP. Si éste es el caso, se envía la dirección asociada al ISD4003-8M para que se ejecute el comando.
- **Teclado Matricial:** Esta rutina se mantiene en proceso mientras la tecla está siendo presionada por el usuario, aprovechando su duración de unos cuantos milisegundos. Conlleva los siguientes pasos:
 1. Se envían 5 bits en alto y uno en bajo provenientes del puerto B a través de teclado matricial; se hace rotar el bit 0 hasta que en alguna entrada del puerto A aparezca un nivel bajo, de esta manera se determina el punto de intersección donde ocurrió el evento. Así, a partir de la lectura del puerto A (filas) y el estado del puerto B (columnas) se puede determinar cuál tecla en el arreglo matricial fue presionada.

2. Se lee la tabla de códigos previamente definida que contiene la posición en memoria del ISD4003-8M del mensaje asociado a la tecla.

● INTERRUPCIONES DEL IRQ

Esta interrupción permite identificar la finalización de un sonido para poder habilitar el amplificador MAX4295 en modo de bajo consumo de potencia, a través de su entrada SHDN. Cuando se presiona una tecla, el microcontrolador habilita el amplificador durante el lapso de tiempo que dure el mensaje.

Por el contrario, cuando el sistema está configurado para grabación, el MAX4295 permanece deshabilitado para evitar su funcionamiento innecesario.

5.3.4 Envío de dirección de memoria. Seguido al proceso de detección de teclas, se incorpora el envío de datos al circuito grabador de voz para que se ejecuten acciones de reproducción, grabación y detención de mensajes. Para habilitar y preparar el envío de datos se empleó la siguiente instrucción:

```
SPCR_SPE=1;
```

Con esta orden, el microcontrolador activa el reloj SPCK y el ISD4003-8M permite la transferencia de datos cuando el pin de selección \overline{SS} pasa de un nivel alto a uno bajo.

6. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA EXTERNA

Para hacer de este sistema electrónico un medio de comunicación útil y eficiente para personas con discapacidades motoras y visuales, es fundamental diseñar su estructura externa con parámetros que se ajusten a sus necesidades. En este orden de ideas, es necesario conocer las limitaciones y habilidades del usuario para superarlas y aprovecharlas*.

A continuación se exponen los criterios básicos para el diseño (distribución y estructura) del módulo, las características finales del sistema y sugerencias para su construcción.

6.1 DISTRIBUCIÓN Y SELECCIÓN DE VOCABULARIO**

El teclado está conformado por un conjunto de 30 teclas distribuidas espacialmente por categorías:

❖ Entrenamiento auditivo

La finalidad de este módulo de teclas es familiarizar al paciente con algunos sonidos comunes y de poca complejidad, de esta manera, se logra ampliar su vocabulario y el reconocimiento de sonidos de su ambiente.

* Refiérase al capítulo 1 para obtener información sobre las personas con parálisis cerebral y al capítulo 3 (Parámetros de diseño y Bloques funcionales – Teclado) para conocer más sobre las características del equipo, dadas las limitaciones y posibilidades de estas personas.

** Asesores: ANA PATRICIA LOPEZ, *Terapeuta Ocupacional* Instituto de Seguros Sociales y ADRIANA VALDERRAMA *Fonoaudióloga* Instituto de Seguros Sociales; quienes a través de la observación sistemática y de pruebas adaptadas (con objetos reales y colores) han logrado conocer plenamente las necesidades básicas de los niños con parálisis cerebral severa.

a. Animales: Esta categoría incluye los sonidos característicos de algunos animales, teniendo en cuenta los más comunes. Los animales seleccionados son:

- Perro
- Gato
- Caballo
- Vaca
- Gallo

b. Medios de Transporte: Este bloque de teclas emite los sonidos que identifican a algunos medios de transporte usuales. Dentro de éstos se encuentran:

- Avión
- Carro
- Tren
- Barco

c. Familiares: Esta categoría contiene los fonemas que identifican a los familiares más cercanos del paciente. Para este caso se seleccionaron los siguientes:

- Mamá
- Papá
- Tíos
- Abuelos
- Hermanos

d. Melodías: Consta de 3 teclas por medio de las cuáles el paciente puede escuchar melodías infantiles.

❖ **Órdenes**

Mediante estas teclas, el paciente puede expresar una necesidad o deseo dependiendo de su condición física y estado de ánimo. Se escogieron las siguientes órdenes básicas:

a. Necesidades:

- ¡Tengo sed!
- ¡Tengo hambre!
- ¡Tengo sueño!
- ¡Me siento enfermo!

b. Deseos:

- ¡Quiero jugar!
- ¡Quiero Pasear!

c. Entretenimiento:

- ¡Quiero ver TV!
- ¡Quiero escuchar música!

d. Elección:

- SI
- NO

e. Saludos:

- Hola
- Chao

f. Otros:

- Grabación libre: Esta tecla permite la grabación de cualquier tipo de sonido (música, voz) por medio de las entradas de audio. Posee duración limitada, opcionalmente interrumpida en algún tiempo menor.

6.2 PARÁMETROS DE DISEÑO

Para la elaboración del teclado del entrenador auditivo se tuvieron en cuenta ciertos aspectos que se resumen a continuación.

❖ Distribución de las teclas

Para distribuir adecuadamente los pulsadores es necesario determinar las zonas a las cuales el niño discapacitado tiene mejor acceso. De esta valoración depende la ubicación posterior de los pulsadores, colocando los de uso más frecuente en las zonas a las que el acceso es más fácil. Para este prototipo se ha establecido como zonas de mejor acceso la parte central y derecha del tablero.

❖ Diseño de los pulsadores

Con respecto al diseño de los pulsadores se sugieren ciertas características:

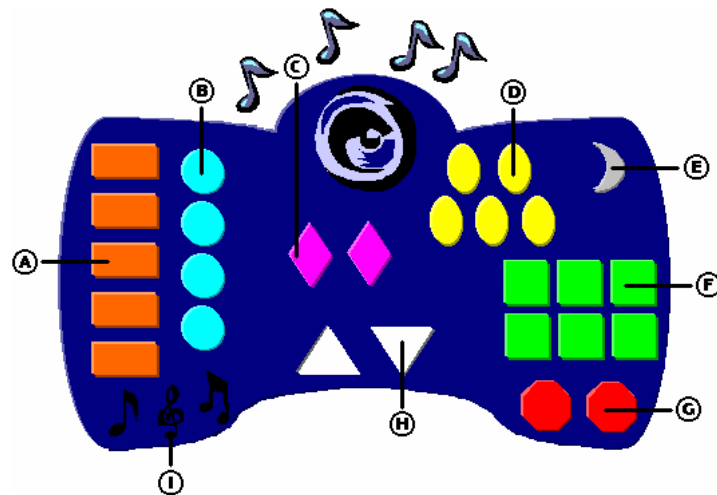
- Tamaño grande (5 a 6 cm de lado), así son más fáciles de localizar y oprimir.
- Empleo de figuras geométricas y colores fosforescentes por bloques que permitan diferenciarlas fácilmente.

- En la parte central del pulsador utilizar algún tipo de relieve en color negro que facilite su discriminación visual y su localización mediante el tacto.

6.3 DISEÑO DEL TECLADO

Con base en los planteamientos anteriores se diseñó la estructura del teclado y la distribución de sus pulsadores. Como primer aspecto se separó la sección de entrenamiento auditivo de la sección de comunicación, y dado que esta última es de mayor importancia se acomodó en las zonas de mejor y fácil acceso determinadas anteriormente (parte central y derecha del tablero).

Los bloques pertenecientes al entrenamiento auditivo se distribuyeron en forma vertical mientras que las secciones de comunicación forman grupos horizontales tal y como se muestra en la figura 44.



ENTRENAMIENTO AUDITIVO

- A. Sonidos de animales
- B. Medios de transporte
- I. Melodías

COMUNICACIÓN

- C. Entretenimiento
- D. Personas
- E. Tecla alterna
- F. Necesidades
- G. Saludos
- H. Elección

Figura 44. Distribución de teclas

El parlante de salida de audio se ubicó en la parte central superior del tablero para lograr una mejor dispersión del sonido.

Los botones que corresponden a la configuración del entrenador (control del volumen, selección de grabación/reproducción, STOP y grabación en tecla alterna) se ubicaron en la partes laterales del teclado para evitar la manipulación por parte del niño.

El tamaño del tablero de comunicación se determinó haciendo una estimación del área de trabajo manejada por el paciente. Las dimensiones que se escogieron son:

- Ancho: 56 cms.
- Alto: 43 cms.
- Profundidad: 6 cms.

6.4 MATERIALES

En cuanto a materiales se recomienda el uso de aquellos que se manejan en el mercado local, ya que esto disminuye el costo y facilita su construcción.

Los materiales seleccionados para la elaboración de la "caja" y los pulsadores fueron acrílico y resina respectivamente.

- ❖ **Acrílico:** El acrílico es un material ligero que se integra fácilmente a cualquier tipo de construcción, puede dársele diversas formas y acabados por ser un material sumamente versátil y moderno. Es resistente al calor, a esfuerzos mecánicos considerables y a agentes atmosféricos.
- ❖ **Resina:** Material de fácil manejo, económico, seguro, de agradable textura y permite el uso de gran variedad de colores.

CONCLUSIONES

El desarrollo de nuevas aplicaciones en cualquier área requiere un estudio detallado de las necesidades que se desean suplir. Para establecer las características del entrenador auditivo se tuvieron en cuenta las capacidades y necesidades de Santiago Cárdenas, las cuales corresponden, de manera general, a las de un niño con lesiones por parálisis cerebral severa. A partir de estas consideraciones se llegó a un sistema grabador / reproductor de señales de audio controlado por el microcontrolador MC68HC908GP32 de Motorola, dispositivo responsable del control del sistema electrónico total. Además, con el propósito de obtener niveles de audio adecuados para lograr la atención del paciente y familiares, se diseñó e implementó un amplificador de audio con salida ajustable para valores menores de 2 Watts. Estos elementos se agruparon en una estructura sólida y robusta que complementa la funcionalidad del entrenador auditivo al incluir teclas de colores llamativos, con figuras y relieves que facilitan su discriminación. La posibilidad de reeditar los sonidos almacenados permite desarrollar un proceso audiovisual que puede ser modificado de acuerdo a los avances que presente el niño.

Ahora bien, considerando el entrenador auditivo como un sistema de ayuda electrónica para la comunicación de niños, se hizo indispensable alcanzar altos niveles de seguridad que hagan que el sistema no represente ningún riesgo debido a su constante manipulación. De aquí surge el hecho de construir un equipo cuyo circuito electrónico no depende de la red doméstica (portátiles) y esté aislado totalmente del paciente, reduciendo de manera significativa el riesgo de accidentes.

En los equipos portátiles es de suprema importancia la selección de los dispositivos que lo conforman. Ellos deben poseer características que permitan ahorrar al máximo la energía de las baterías utilizadas como fuente de alimentación. Para ello el uso de circuitos que trabajen en modo conmutado se convierten en una excelente alternativa de selección por sus particularidades y estructura interna que los hacen muy eficientes, prolongando de esta manera el tiempo activo de la batería.

Sin embargo, cabe destacar que estos dispositivos adicionan ruido al circuito, desventaja que se acrecenta en sistemas que trabajan con niveles de tensión bajos.

Los reguladores switcheados de voltaje, por ejemplo, presentan baja disipación de potencia en forma de calor dado que la energía media conducida coincide con las exigencias de la carga. Además, a diferencia de los reguladores lineales, la tensión de entrada no debe ser superior a la tensión de salida.

En cuanto a los amplificadores, los clase D son los más adecuados para equipos portátiles debido a que exhiben un buen balance entre eficiencia y distorsión.

Otro parámetro importante en este tipo de equipos es el tamaño y peso de los componentes, de aquí que el uso de circuitos integrados sea la mejor alternativa, éstos reducen el número de componentes discretos y el grado de complejidad del sistema. Por otra parte, y teniendo en cuenta el mismo criterio, se considera adecuado el uso de baterías Litio - ion que ofrecen gran capacidad de almacenamiento de energía en celdas de peso reducido y nivel de toxicidad nulo.

Por último las características finales del prototipo construido son las siguientes:

- Vida útil del sistema: 6 años – Promedio de grabación diario de 50 veces –
- Fácil migración – Ampliación de memoria de almacenamiento a 10, 12 y 16 minutos con la misma estructura. Inversión US\$19 –
- Autonomía del sistema: 8 horas.
- Vida útil de la batería: 2.5 años - Promedio de recarga de 48 horas-
- Eficiencia de tarjeta electrónica: 71%.
- Eficiencia amplificador de audio clase D: 81%.
- Costo estimado del sistema US\$174.

BIBLIOGRAFÍA

1. RASHID, Muhammad H., ELECTRÓNICA DE POTENCIA, Segunda Edición.
2. SALAZAR, Nahir de, COMUNICACIÓN AUMENTATIVA Y ALTERNATIVA, Primera Edición, Universidad Pedagógica Nacional, 2000.
3. SEDRA, Adel S.; SMITH, Kenneth C., CIRCUITOS MICROELECTRÓNICOS, Cuarta edición, Oxford University Press.
4. TOCCI, Ronald, SISTEMAS DIGITALES, Sexta Edición, Ed. Prentice Hall, 1996.
5. Página principal de Winbond Electronics Corporation of America, proveedor del dispositivo grabador de voz.
<http://www.winbond-usa.com>
6. Manual del usuario del MC68HC908GP32 de Motorola Rev. 6, 8/2002.
<http://www.motorola.com/semiconductors>
7. Página principal de Maxim, proveedor del amplificador.
<http://www.maxim-ic.com>

ANEXO A. MANUAL DEL USUARIO PARA EL MANEJO DEL
ENTRENADOR AUDITIVO Y SU CARGADOR DE BATERÍA

ANEXO A. MANUAL DEL USUARIO PARA EL MANEJO DEL ENTRENADOR AUDITIVO Y SU CARGADOR DE BATERÍA



Figura 45. Vista superior del prototipo final.

Este manual contiene una descripción detallada de los diferentes elementos externos del entrenador auditivo así como los procedimientos necesarios para el correcto funcionamiento del sistema.

A.1 ESPECIFICACIONES

✓ **MEDIDAS:**

- Dimensiones (Ancho/largo/alto): 43cm/56cm/6cm.

✓ **ELÉCTRICAS:**

- Alimentación: Baterías de 3.6V, DC.
- Autonomía: 8 horas.

A.2 PRECAUCIONES

Para mantener un buen funcionamiento:

- Este sistema sólo debe operarse utilizando el tipo de baterías cuya descripción se menciona en la sección de accesorios.
- Si el entrenador no va ser usado por largos periodos de tiempo retire las pilas.
- Nunca introduzca en la caja objetos de cualquier clase ya que los mismos pueden causar que las partes entren en corto circuito.
- No intente bajo ningún motivo abrir el comunicador, puede dañar las conexiones y deteriorar las piezas interiores.
- Cuando se requieran elementos de repuesto, asegúrese de utilizar los especificados por el fabricante o que tengan las mismas características del elemento original.
- El cable de alimentación del cargador debe colocarse de manera que no se le pise o apriete por objetos colocados sobre o contra el y nunca debe ser estirado.
- No sobrecargue las tomas de corriente de la pared porque podría producirse un riesgo de incendio o una sacudida eléctrica.
- El usuario no debe tratar de reparar el aparato, cualquier reparación debe ser realizada por personal calificado.
- El aparato debe ser reparado cuando:
 - El cable de alimentación o el enchufe estén estropeados.
 - Hayan caído objetos o líquidos al interior del aparato.
 - Parezca que el aparato no funciona correctamente siguiendo las instrucciones de este manual.
 - La caja del aparato haya sido estropeada.
 - El sistema no cumpla con sus prestaciones iniciales.
- Cuando se encuentre el cargador en funcionamiento manténgalo alejado de los niños.

A.3 APLICACIÓN

✓ **ENTRENAMIENTO AUDITIVO:**

Puede ser utilizado en la rehabilitación de la capacidad auditiva de niños y adultos. Permite al paciente familiarizarse con sonidos comunes e incrementar el vocabulario.

✓ **SISTEMA DE COMUNICACIÓN:**

Puede ser empleado para suplir la falta de expresión oral y gestual.

A.4 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

A.4.1 Entrenador auditivo.



Figura 46. Descripción de elementos externos del entrenador.

- 1. FUENTE DE ALIMENTACIÓN:** Se debe conectar una batería de tal forma que suministre un voltaje nominal de 3.6V.
- 2. INTERRUPTOR DE ENCENDIDO:** Para encender el teclado coloque en la posición ON. Si no va a ser usado por largo tiempo colóquelo en la posición OFF para economizar la energía de la batería.
- 3. AJUSTE DE FUNCIÓN:** Por medio de este interruptor se puede seleccionar el tipo de actividad a llevarse a cabo con el entrenador auditivo. La posición P permite reproducir los mensajes (funcionamiento normal) mientras que la posición R permite el ajuste o renovación de mensajes (grabación).

Después de seleccionar la posición de este interruptor, inmediatamente se pulse cualquiera de los botones que conforman el teclado se inicia el proceso de grabación o reproducción correspondiente a dicha tecla; por ello es importante revisar su posición antes de utilizar el comunicador o evitar su manipulación para evitar borrar los mensajes previamente grabados si no es lo deseado.

El sistema finaliza automáticamente la reproducción o grabación de mensajes según los tiempos asignados para cada pulsador (revisar descripción del teclado) o si lo desea puede detenerlo mediante el botón STOP.

- 4. INDICADOR DE GRABACIÓN:** Cuando se encuentra encendido indica que algún proceso de grabación se lleva a cabo y se apaga cuando se detiene la grabación ya sea por medio del botón STOP o automáticamente por el cumplimiento del tiempo predeterminado para la duración del mensaje (revisar la descripción del teclado para conocer estos tiempos).
- 5. GRABADOR DE POSICIÓN ALTERNA:** Permite renovar fácil y rápidamente el mensaje de la tecla alterna, sin poner en riesgo los demás mensajes almacenados.
- 6. STOP:** Permite detener la reproducción o grabación de un mensaje en cualquier momento, colocando además el sistema en bajo consumo de energía.

- 7. CONEXIÓN DE LOS AUDÍFONOS:** Para la etapa de adaptación del comunicador se pueden conectar audífonos que permitan centrar la atención del niño en el proceso de rehabilitación.
- 8. SELECTOR DE MICRÓFONO O ENTRADA AUXILIAR:** Permite seleccionar el medio por el cual serán introducidos los mensajes al sistema.
- 9. ENTRADA AUXILIAR:** Por medio de un cable estereofónico es posible grabar sonidos provenientes de equipos de sonido, computadores, televisores, etc.
- 10. VOLUMEN:** Permite ajustar el nivel adecuado de audio.
- 11. SALIDA DE AUDIO PARA PARLANTES EXTERNOS:** Permite la conexión de parlantes externos ya sea para elevar el nivel de audio de salida o para transportar los sonidos a sitios alejados.
- 12. MICRÓFONO:** Elemento interno del comunicador que facilita el ingreso de nuevos mensajes.
- 13. TECLADO:** El conjunto de 30 teclas que conforman el comunicador está distribuido en 9 bloques. Cada uno de ellos ostenta un color y una forma geométrica diferente, además, posee un tiempo de duración predeterminado para los mensajes. Ver Figura 44.

La Tabla 10 contiene un resumen práctico y didáctico de esta distribución.

NOTA: El tiempo preestablecido permite que en el proceso de grabación no se borren los mensajes siguientes. Cuando el indicador de grabación se apague, sin haber pulsado previamente la tecla *STOP*, señala que el tiempo permitido para el almacenamiento del mensaje en ese pulsador se terminó.

Bloque	Número de pulsadores	Color	Forma	Tiempo
A	5	Naranja	Rectangular	15 segundos
B	4	Azul	Circular	15 segundos
C	2	Fucsia	Rombos	10 segundos
D	5	Amarillo	Oval	5 segundos
E	1	Celeste	Semicircular	50 segundos
F	6	Verde	Cuadrada	10 segundos
G	2	Fucsia	Hexagonal	5 segundos
H	2	Blanco	Triangular	5 segundos
I	3	Verde Lima	Notas musicales	50 segundos

Tabla 10. Características de cada bloque que conforma el comunicador.

A.4.2 Cargador de baterías.



Figura 47. Elementos externos del cargador de baterías.

- 1. FUENTE DE ALIMENTACIÓN:** Se debe conectar un adaptador cuyo nivel de dc sea superior a 10 voltios e inferior a 20 voltios, y que su corriente sea superior a 1A.

2. **INTERRUPTOR DE ENCENDIDO:** Para encender y apagar el sistema colóquelo en la posición ON y OFF respectivamente.
3. **INDICADOR DE ENCENDIDO:** Cuando se encuentra encendido advierte al usuario que el sistema se encuentra activo y debe manejarse con cuidado.
4. **INDICADOR DE FINALIZACIÓN DEL PROCESO DE CARGA:** Al encenderse determina la finalización del proceso de carga y las baterías pueden ser removidas.
5. **INTERFAZ DEL USUARIO:** Dependiendo de su estado indican la etapa en la cual se encuentra el proceso de carga. La Tabla 9 explica como interpretarlos.
6. **BATERÍAS:** Deben utilizarse 2 baterías de Li-Ion de 3.6 V y capacidad superior 1 Ah. Inserte las baterías tal y como lo indica la caja.

A.5 OPERACIÓN BÁSICA

A.5.1 Entrenador auditivo.

Reproducción

Coloque el interruptor de ajuste en la posición P y regule el nivel de audio de salida.

Grabación

Para cualquier casilla:

1. Coloque el interruptor de ajuste en la posición R.
2. Si desea grabar el sonido de un elemento externo (equipos de sonido, computadores, etc.) introduzca un terminal del cable estereofónico en la entrada auxiliar del sistema y el otro en la salida de audio del aparato externo, de lo contrario emita los sonidos lo más cerca posible al micrófono.
3. Pulse la casilla donde desee que su mensaje quede almacenado.
4. Cuando el indicador de grabación se encienda, emita los sonidos.

5. Al terminar de emitir los sonidos oprima *STOP* (revise los tiempos máximos de cada bloque en la sección de descripción del teclado).
6. Si durante la grabación se excede el tiempo predeterminado el sistema automáticamente se detiene y el led indicador de grabación se apaga.
7. Si desea cambiar otros mensajes siga los pasos 3 a 5.

Para la casilla alterna:

Puede utilizar el procedimiento anterior, sin embargo el sistema brinda una opción más segura que impide que cualquier otro mensaje se altere.

1. Verifique que el botón de ajuste se encuentre en el modo reproducción.
2. Si desea grabar el sonido de un elemento externo introduzca un terminal del cable estereofónico en la entrada auxiliar del sistema y el otro en la salida de audio del aparato externo, de lo contrario emita los sonidos lo más cerca posible al micrófono.
3. Oprima el botón de grabación en posición alterna.
4. Cuando el indicador de grabación se encienda emita los sonidos.
5. Al terminar de emitir los sonidos oprima *STOP* (Tiempo máximo 50s).

A.5.2 Carga de baterías.



El cargador está diseñado SÓLO para 2 baterías tipo Litio – Ion de 3.6V cada una.

Para la recarga de las baterías el procedimiento es el siguiente:

1. Introduzca las baterías según lo indica la caja.
2. Conecte el adaptador al cargador y enchúfelo.
3. Encienda el sistema.
4. Cuando el indicador de finalización de carga se encienda, apague el equipo, retire el adaptador y las baterías.

Tiempo de carga estimado para las baterías suministradas (Panasonic CGR18650, 3.6V – 2150mA) 3 horas.