



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN SISTEMA PORTÁTIL
DE AMPLIFICACIÓN DE VOZ**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA MECATRÓNICA

P R E S E N T A :

JARAMILLO FERNÁNDEZ NATALI



DIRECTOR DE TESIS:

ING. LUIS YAIR BAUTISTA BLANCO

2013

AGRADECIMIENTOS.

A Dios. Por concederme día a día el privilegio de vivir y guiarme en cada una de las decisiones que he tomado.

A mis padres. Por apoyarme siempre en la búsqueda de mis sueños, por su ejemplo, sus consejos. Gracias por guiarme y mostrarme como la educación es un camino de superación y de éxito. Sin duda, gracias a su ayuda y a los valores que me han inculcado fue posible salir de casa para entrar a un nuevo mundo.

A mi hermana Karen. Por las largas horas de conversación, su paciencia, alegría y cariño. Mi mejor amiga, mi compañera, la más espontánea de todas, quien a pesar de la distancia siempre ha encontrado una forma de mantenerse cerca.

A toda mi familia. Por creer en mí, por su confianza, apoyo y alegría en todo momento. Por brindarme siempre un consejo, una sonrisa y demostrarme que la música y el canto más que formas de expresión son una forma de vida.

A Patricia del Arenal y Edgardo Escamilla (Q.E.P.D). Por ser mi familia en la Ciudad de México, por sus enseñanzas, por mostrarme nuevas formas de pensar y expresiones culturales, pero sobre todo gracias por entrar en mi vida y dejarme ser parte de la suya en los buenos y malos momentos.

A Michelle Steffani. Por haberme motivado a terminar esta fase, por su amor, sus consejos y por todos los momentos juntos llenos de sonrisas y cariño. Por mostrarme que caminar de la mano de alguien es una de las mejores experiencias de vida.

A mis amigos de la carrera y a Angélica Hernández. Por los buenos momentos compartidos, por las largas noches de proyecto, por los consejos tanto académicos como personales. Por compartir conmigo dentro y fuera de la escuela.

A la Mtra. Margarita Carpio. Por colaborar con la realización de este trabajo, contribuir con las pruebas, fotografías tomadas y entrevistas.

A Ariadna Ávila. Por su amistad y por contribuir con algunas de las imágenes mostradas en este trabajo.

Al Ing. Roberto Hernández García de Poliformas Plásticas. Por enseñarme el trabajo con plásticos y así contribuir con la realización de este trabajo.

A mis profesores. Por trasmitirme conocimiento tanto de ingeniería como lecciones de vida dentro del aula y en cada plática o momento compartido. Gracias porque de ustedes recibí bases fuertes para desenvolverme como estudiante y como profesional.

Al Ing. Luis Yair Bautista Blanco. Por guiarme en la realización de este trabajo y porque además de ser mi tutor, ha sido un buen amigo, una persona que me ha llenado de consejos y nuevos conocimientos. Gracias por creer en mí, en mi propuesta y por ayudarme a romper paradigmas.

A mis sinodales. Principalmente porque su ayuda y retroalimentación hizo posible la conclusión de este trabajo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y la Facultad de Ingeniería. Por ser una de las mejores cosas que me han pasado en la vida. Por darme la oportunidad de complementar mi aprendizaje en otro país. Por haberme brindado los medios y los recursos para estudiar y terminar mi carrera profesional

ÍNDICE.

Agradecimientos.....	i
Índice de figuras.	vi
Índice de tablas.....	viii
INTRODUCCIÓN.	1
1. OBJETIVOS.	2
1.1. Objetivos Generales.	2
1.2. Objetivos Específicos.....	2
2. ANTECEDENTES	3
2.1. Sistemas e Ingeniería: Conceptos y Relación.	3
2.2. Origen del Proyecto.....	10
2.3. Estado del Arte.	11
2.3.1. Descripción general.....	11
2.3.2. Características técnicas.	14
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	16
3.1. Necesidades del Cliente.	16
3.2. Requerimientos de los <i>stakeholders</i>	17
3.3. Definición del Sistema.	23
4. SOLUCIÓN DEL PROBLEMA: DISEÑOS Y CONSIDERACIONES.	27
4.1. Requerimientos del Sistema.	27
4.1.1. Especificaciones del sistema.	29
4.1.2. Medidas de desempeño técnico.	31
4.2. Análisis Funcional.	32
4.3. Análisis de Tecnologías y Factibilidad.	34
4.3.1. Energía.....	34
4.3.2. Captura de voz.....	39
4.3.3. Amplificación de señales.	43
4.4. Diseño Conceptual.	46
4.4.1. Generación de conceptos.....	46
4.4.2. Selección de concepto.....	51

5. SISTEMA PORTÁTIL DE AMPLIFICACIÓN DE VOZ: FIVOZ.	52
5.1. Subsistema de Captura de Voz y de Procesamiento de Señales.	52
5.1.1. Requerimientos.	52
5.1.2. Arquitectura.	54
5.2. Subsistema de Reproducción de Sonido.	58
5.2.1. Requerimientos.	58
5.2.2. Arquitectura.	59
5.3. Subsistema Energético.	60
5.3.1. Requerimientos.	60
5.3.2. Arquitectura.	61
5.4. Subsistema de Control de Fallas.	64
5.5. Interfaces e Integración.	66
5.5.1. Piezas para el almacenamiento de componentes.	66
5.5.2. Cables y conectores.	73
5.5.3. Sistema total.	74
6. VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN.	76
6.1. Verificación.	76
6.1.1. Prueba a la tarjeta de micrófono MEMS.	77
6.1.2. Prueba de carga/descarga de la batería.	77
6.1.3. Prueba mecánica de la carcasa.	78
6.1.4. Prueba de reproducción de sonido.	80
6.2. Validación.	81
6.2.1. Prueba de calidad acústica.	81
6.2.2. Prueba del modelo funcional.	82
7. RESULTADOS Y TRABAJO A FUTURO.	84
CONCLUSIONES.	91
ANEXOS.	92
Anexo I. Glosario.	92
Anexo II. Pruebas de peso de collares.	94
Anexo III. Pruebas de definición de potencia acústica.	96

Anexo IV. Refacciones.	97
Anexo V. Materiales compuestos.	99
Matrices orgánicas.	100
Refuerzos.....	101
Recubrimientos.	102
REFERENCIAS.	103

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 2.1 Impacto de costos debido a los cambios.....	3
Figura 2.2 Valor del enfoque de sistemas. INCOSE 2006.	4
Figura 2.3 Visualización de un sistema.	5
Figura 2.4 El sistema.	6
Figura 2.5 Enfoque de sistemas.	8
Figura 2.6 Requerimientos en el modelo “v”.	9
Figura 2.7 Amplificador de Voz marca Steren.	11
Figura 2.8 Amplificador personal voista.	12
Figura 2.9 Amplificador de voz MA2800.....	12
Figura 2.10 Amplificador de voz Tunersys TA102.....	13
Figura 2.11 Características de los amplificadores portátiles de voz comerciales.	15
Figura 3.1 Escenario del ciclo de vida del amplificador de voz.	17
Figura 3.2 Escenario de funcionamiento óptimo del sistema FIVOX.	18
Figura 3.3 Escenario de mantenimiento del amplificador de voz.....	19
Figura 3.4 Diagrama inicial del sistema de amplificación de voz portátil.	24
Figura 3.5 Diagrama del sistema amplificador de voz.....	25
Figura 4.1 Carta de comparación de pares del sistema FIVOX.....	31
Figura 4.2. Diagrama de caja negra del sistema FIVOX.	32
Figura 4.3 Diagrama funcional del sistema amplificador de voz portátil.....	33
Figura 4.4. Circuito de un cargador USB.	38
Figura 4.5 Curva de captación de varios tipos de micrófonos.	39
Figura 4.6 Escala comparativa del Tamaño de un dispositivo MEMS.....	41
Figura 4.7 Micrófonos MEMS de montaje superficial.	42
Figura 4.8 Amplificador operacional de propósito general.	43
Figura 4.9 Efecto real de voltaje en modo común.....	45
Figura 4.10 Conceptos del sistema portátil de amplificación de voz.....	47
Figura 4.11 Concepto uno del sistema de amplificación de voz.	48
Figura 4.12 Concepto dos del sistema portátil de amplificación de voz.	49
Figura 4.13 Concepto tres sistema FIVOX.	50
Figura 5.1 Diagrama funcional del micrófono ADMP401.....	54
Figura 5.2 Circuito esquemático tarjeta de desarrollo del micrófono MEMS.....	55
Figura 5.3 Apariencia del subsistema de audio y de procesamiento.	55
Figura 5.4 Módulo de Evaluación de Texas Instrument.	56
Figura 5.5 Esquemático del módulo TPA301.	57
Figura 5.6 Arquitectura del subsistema de reproducción de voz.	59
Figura 5.7 Esquemático de la tarjeta de recarga.	61
Figura 5.8 Tarjeta de recarga y sus componentes.	63
Figura 5.9 Esquemático del interruptor para activación del motor vibrador.....	64
Figura 5.10 Vistas del modelo de la carcasa de la bocina HIBOX.....	67
Figura 5.11 Molde de la carcasa para la bocina del sistema FIVOX.....	70
Figura 5.12 Carcasa en fibra de vidrio y resina con recubrimiento de <i>gelcoat</i>	71
Figura 5.13 Carcasa de micro esfera de vidrio y resina.	72

Figura 5.14 Cable trenzado para la conexión de la bocina.....	73
Figura 5.15 Conectores jack hembra y macho de 3.5[mm].....	73
Figura 5.16 Modelo funcional del sistema FIVOX.....	74
Figura 5.17 Circuito total del sistema FIVOX.....	75
Figura 6.1 Máquina INSTRON para la realización del ensayo de compresión.....	79
Figura 6.2 Muestras de carcasas para el ensayo de compresión.....	79
Figura 6.3 Parámetros para el ensayo de compresión de las carcasas en la máquina INSTRON.....	80
Figura 6.4 Configuración de los elementos para la prueba de audio.....	81
Figura 6.5 Usuario del sistema FIVOX durante la prueba de potencia acústica.....	82
Figura 6.6 Usuario del sistema FIVOX durante la prueba del modelo funcional.....	83
Figura 7.1 Gráfica de v_{pp} contra la distancia del micrófono a la fuente de sonido.....	84
Figura 7.2 Gráfica del voltaje de alimentación contra el tiempo de uso del sistema FIVOX.....	86
Figura 7.3 Gráfica de la carga contra el desplazamiento de las carcasas en la prueba de compresión.....	88
Figura 7.4 Carcasas al terminar la prueba de compresión.....	89

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 2.1 Características técnicas amplificadores de voz portátiles.....	14
Tabla 3.1. Requerimientos de los stakeholders del sistema de amplificación de voz portátil.....	22
Tabla 3.2. Subsistemas e interfaces existentes en el sistema de amplificación de voz portátil.....	26
Tabla 4.1 Requerimientos del Sistema de Amplificación de Voz Portátil.	28
Tabla 4.2 Especificaciones del sistema FIVÓZ.	29
Tabla 4.3. Comparación de baterías.	35
Tabla 4.4 Comparación baterías NiMH y Li-ion.	36
Tabla 4.5 Opciones comerciales de baterías para el sistema FIVÓZ.....	37
Tabla 4.6 Comparación de corriente y voltaje de alimentación de 3 op amp.....	44
Tabla 4.7 CMRR de los amplificadores operacionales analizados.	45
Tabla 4.8 Alternativas para diferentes funciones del sistema FIVÓZ.	46
Tabla 4.9 Selección del concepto final del amplificador de voz FIVÓZ.....	51
Tabla 5.1 Requerimientos del subsistema de captura de voz y del subsistema de procesamiento de señales.	53
Tabla 5.2 Requerimientos del subsistema de reproducción de voz.	58
Tabla 5.3 Requerimientos del subsistema energético.	60
Tabla 5.4 Resistencia variable contra corriente de carga.	62
Tabla 5.5 Requerimientos del subsistema de control de fallas.	64
Tabla 7.1 Resultados de la prueba del micrófono MEMS.	84
Tabla 7.2 Resultados de la prueba de desempeño de la batería.	85
Tabla 7.3 Resultados de la prueba de compresión de las carcasas.	87

INTRODUCCIÓN.

En el presente trabajo se expone el desarrollo elaborado para la creación del modelo funcional de un sistema portátil de amplificación de voz. El primer capítulo contiene los objetivos tanto generales como particulares de este trabajo. Por otra parte, se presenta en el segundo capítulo una recopilación teórica de la ingeniería de sistemas como enfoque a utilizar, así como el origen del proyecto y los dispositivos comerciales existentes en este ámbito de amplificación. El capítulo tres muestra cómo en el planteamiento del problema, las necesidades del usuario evolucionan hacia los requerimientos de los *stakeholders* para dar posterior origen a la definición del sistema. A lo largo del capítulo cuatro de este trabajo se inicia el desarrollo de la solución, mediante la generación de especificaciones y su respectiva jerarquización, la realización del análisis funcional correspondiente al sistema así como el estudio de las posibles tecnologías a utilizar; lo que permite la generación de conceptos y la posterior elección de aquel que se ajusta mejor a las necesidades del usuario. El capítulo cinco muestra el desarrollo de los subsistemas que conforman el sistema total, al igual que las interfaces e integración de todos los elementos. Continuando a través del capítulo seis, se presenta la serie de pruebas realizadas a los elementos que conforman la solución propuesta así como al modelo funcional del mismo con la finalidad de observar que su comportamiento es el esperado y predecir posibles fallas que afecten al dispositivo. En el capítulo siete se realiza un desglose de los resultados obtenidos para cada una de las pruebas realizadas así como una reflexión sobre el trabajo a futuro que se puede desarrollar con lo obtenido. Finalmente, para terminar el trabajo se presentan las conclusiones generadas a partir del desarrollo de este trabajo.

1. OBJETIVOS.

Una parte fundamental en la realización de un proyecto es la definición de sus objetivos, tanto generales como específicos. De esta definición, parten todas las actividades que se llevarán a cabo para obtener los resultados deseados de manera satisfactoria para los involucrados con el proyecto.

En los apartados posteriores se enumeran los objetivos a alcanzar con este proyecto.

1.1. OBJETIVOS GENERALES.

- Diseñar y desarrollar un dispositivo amplificador de voz.
- Diseñar el dispositivo a manera de modelo funcional orientado al usuario.
- Considerar el uso tecnologías actuales aplicables al dispositivo diseñado y que se encuentran ausentes en los dispositivos comerciales existentes.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Aplicar el enfoque sistémico y sistemático a la metodología de diseño tradicional; buscando así un mayor uso de capital intelectual, en vez de material, que se traduzca en menor cantidad de iteraciones y rediseños a lo largo del proyecto.
- Realizar un análisis de factibilidad del diseño a realizar y de las tecnologías a implementar.
- Proponer el uso de un enfoque integrador para selección de componentes.
- Analizar los componentes, subsistemas y sistema en general bajo algunos escenarios y posibles condiciones de falla.
- Integrar al usuario final en el proceso de la validación de requerimientos, así como en las pruebas del modelo funcional.

2. ANTECEDENTES

2.1. SISTEMAS E INGENIERÍA: CONCEPTOS Y RELACIÓN.

Con el paso de los años y el incremento de fenómenos como la globalización; el diseño de nuevos productos así como el mejoramiento de los ya existentes, representa un reto para todas las generaciones de profesionales involucrados en el área y que convergen en la actualidad. Dado lo anterior, hay una necesidad continuamente creciente de desarrollar y producir sistemas que sean de gran calidad, confiables, robustos, viables y que respondan a las necesidades del cliente de forma satisfactoria. Con base en experiencias previas, se encontró que la mayoría de los problemas generados en la adquisición de los objetivos planteados durante un proyecto estaban directamente relacionados con la falta de un enfoque integral y de sistemas en su desarrollo.

La ausencia de una planeación bien estructurada en etapas tempranas de un proyecto, lleva a que se siga la ideología de diseñar en el momento y arreglar después tratando de ahorrar costos a corto plazo. Esta forma de pensamiento y diseño tradicional implica, en muchos casos, procesos de re-diseño en etapas avanzadas del proyecto; generando así pérdidas debido al impacto de costos que generan dichos cambios.

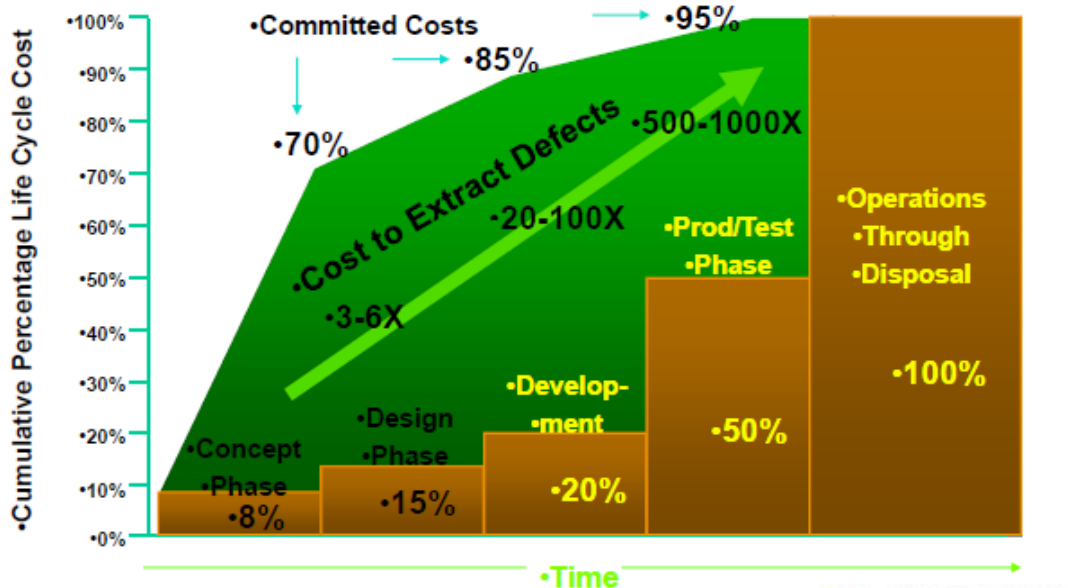


Figura 2.1 Impacto de costos debido a los cambios [1].

La figura 2.1 muestra como en las fases iniciales del ciclo de vida del producto se presentan los porcentajes más pequeños de gastos en el proceso. Conforme se va avanzando en el tiempo, los costos van aumentando y con ellos la extracción de defectos se vuelve poco rentable. Cuando se llega a etapas muy avanzadas de un proyecto, como lo son las fases de pruebas y producción, se involucran no sólo materiales, sino también procesos, recursos humanos y grandes volúmenes del producto; lo que conlleva a que la extracción y/o corrección de defectos resulte entre 500 y 1000 veces más costosa. De esta manera, la figura muestra claramente como es necesario durante el ciclo de vida del producto un enfoque completo que esté orientado a evitar los excesivos gastos mencionados anteriormente.

Las formas tradicionales de diseño y generación de productos se orientan más a las etapas de producción, integración y pruebas; destinando muy poco tiempo al diseño del sistema que es la parte de desarrollo intelectual e investigativo. Por dichas razones, las formas de diseño tradicional se quedan un poco atrás si se comparan con el diseño basado en el pensamiento de sistemas en cuanto a tiempos, costos y otros factores, tal como se observa en la siguiente figura.

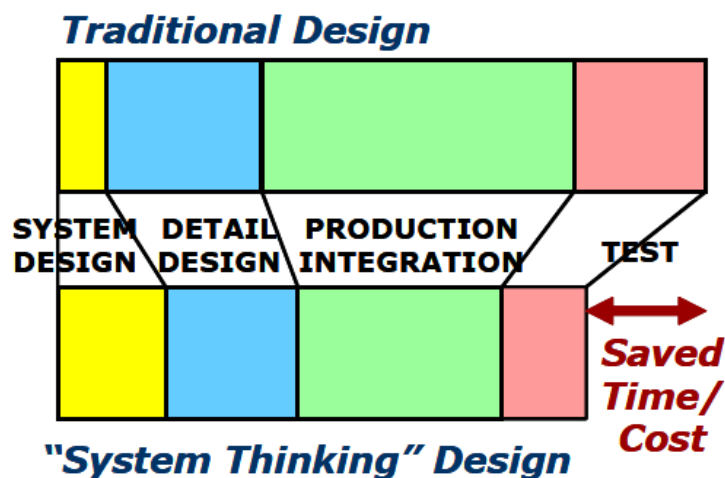


Figura 2.2 Valor del enfoque de sistemas. INCOSE 2006.

El término *sistema* se deriva de la palabra griega *systema* que significa "un todo organizado". En la actualidad, el concepto de sistema puede ser concebido desde varios organismos y perspectivas, no obstante, tras varias iteraciones y análisis por parte del Consejo Internacional de Ingeniería de Sistemas también conocido como INCOSE (de sus siglas en inglés) la definición evolucionó hasta encontrarse como se describe a continuación:

Un sistema es una construcción o colección de distintos elementos que juntos producen resultados no obtenibles por cada elemento de forma individual. Los elementos o partes pueden incluir personas, equipos, software, facilidades, políticas y documentos; que son todas las cosas requeridas para producir resultados a un nivel de sistema. Los resultados incluyen cualidades, propiedades, características, comportamiento y desempeño a un nivel de sistema. El valor añadido por el sistema como un todo, más allá que la contribución independiente de las partes, es principalmente creado por la relación entre las partes, es decir, cómo están interconectadas [2].

Un sistema constituye un grupo de componentes interrelacionados que al trabajar juntos, y con un objetivo común, pueden solucionar una necesidad asignada. El desempeño del sistema depende de las partes que lo constituyen y su correcta interacción; de tal forma, que las propiedades del sistema no son necesariamente la suma de las propiedades de sus componentes. Algunas propiedades determinantes de una parte pueden ser sólo características adicionales del sistema o viceversa; todo depende entonces, de la definición del sistema y su relación con factores económicos, ambientales, físicos y sociales.

En la figura 2.3, se observa como las partes de un sistema interactúan a través de interfaces que pueden ser de dos vías o una; es decir, con o sin retroalimentación respectivamente. Igualmente, se percibe la existencia de una interacción de las partes con el entorno del cual está separado el sistema por una frontera que establece no sólo límites físicos y espaciales sino condiciones de funcionamiento en relación al escenario existente.

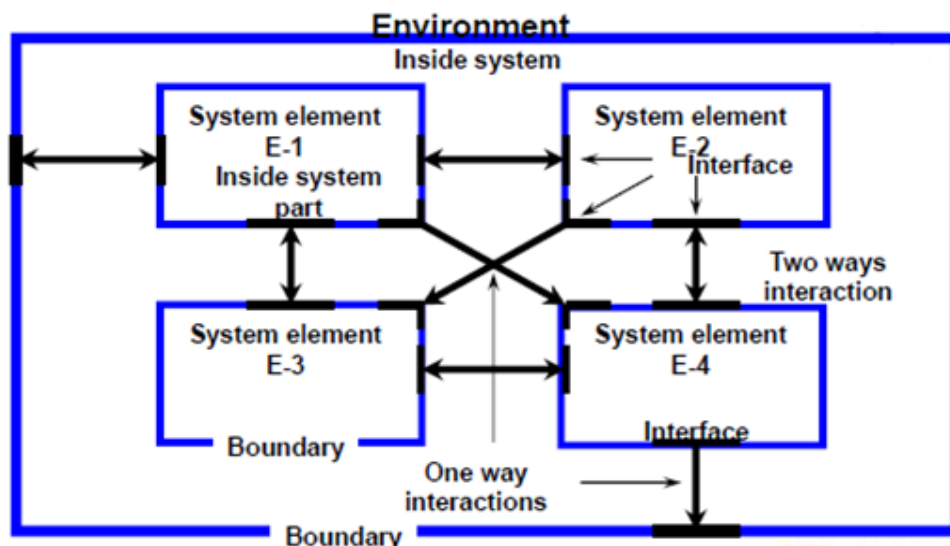


Figura 2.3 Visualización de un sistema [1].

Para los sistemas es fundamental el todo y no solamente las partes de manera individual; es por eso que como se mencionó anteriormente, pequeños cambios en las partes pueden representar grandes cambios en el sistema. Sin embargo, una de sus características principales es la capacidad de adaptarse a los cambios del entorno que le rodea y del cual está separado a través de sus fronteras. A modo general, para su funcionamiento el sistema recibe unas entradas relacionadas con las necesidades del usuario para transformarlas en salidas que cumplan con dichos requerimientos de manera efectiva y eficiente. Todo esto, limitado por una serie de restricciones externas como son tecnológicas, económicas, sociales, políticas ambientales, etc., y desarrollado gracias a mecanismos y recursos adicionales (materiales, equipo de trabajo, software), como se ve en la figura 2.4.

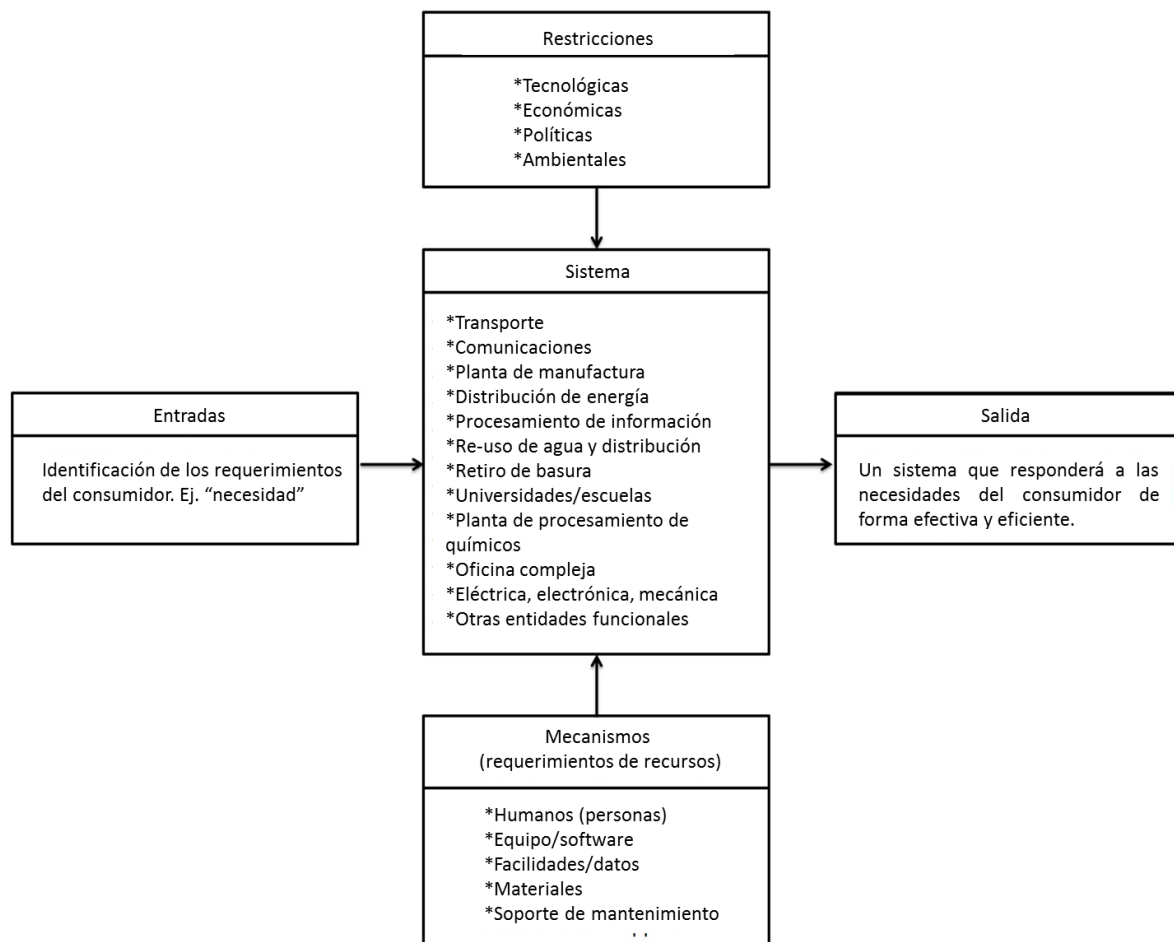


Figura 2.4 El sistema [2].

Las características tan amplias y generales de los sistemas llevan a la necesidad de distinguir tipos de sistemas dependiendo de sus similitudes y diferencias. A continuación, se muestran algunas categorías de los sistemas existentes [2].

- *Sistemas Naturales y Hechos por el hombre:* Los primeros incluyen aquellos sistemas que se generan y funcionan a través de procesos de la naturaleza. Por su parte, los sistemas hechos por el hombre representan gran cantidad de los sistemas analizados en la actualidad e indudablemente muchos de ellos tienen importantes interfaces que se relacionan con el medio ambiente.
- *Sistemas físicos y conceptuales:* Los sistemas físicos están hechos de componentes reales que ocupan un espacio mientras los segundos están más relacionados con la organización de ideas, especificaciones, planes o conceptos abstractos. En muchos casos los sistemas conceptuales llevan al desarrollo de sistemas físicos.
- *Sistemas estáticos y dinámicos:* Los sistemas estáticos incluyen aquellos que tienen una estructura pero ninguna actividad, si se observan en un período de tiempo relativamente corto; mientras los sistemas dinámicos combinan sus componentes con movimiento y actividad.
- *Sistemas abiertos y cerrados:* Un sistema cerrado es aquel que de alguna manera tiene su propio funcionamiento sin que este se vea afectado de manera significativa por el ambiente en el cual está ubicado. En el caso de los sistemas abiertos, sus fronteras son cruzadas por el tránsito de información, energía, etc.; generando así numerosas interacciones entre el medio y los componentes del sistema.

Si bien es cierto que estas clasificaciones dan una orientación sobre el tipo de sistema que se está trabajando las divisiones no siempre están totalmente claras. Los sistemas manejados y analizados en la actualidad son básicamente sistemas hechos por el hombre, físicos, dinámicos y abiertos. Son sistemas complejos que de una u otra forma requieren para su diseño una visión más amplia que la usual.

El enfoque de sistemas se centra fundamentalmente en el análisis de los mismos como un todo en el cual se busca optimizar las interacciones no sólo entre las partes sino también con el entorno, los usuarios finales y en general todas las áreas, personas y recursos involucrados. Este enfoque plantea que se tenga un conocimiento completo del sistema y del contexto teniendo siempre como base el desarrollo de soluciones obtenidas a través de una investigación sistemática. Es decir, todo aquello que se relacione con el sistema; desde los componentes más chicos hasta las grandes máquinas de producción, debe estar allí con un fundamento conceptual válido y analizado de forma previa.

En la figura 2.5 se observa de modo gráfico la relevancia que existe en la sinergia entre el análisis, la síntesis y la investigación. Esta sinergia desemboca en mejores soluciones pues se tiene un conocimiento integral sobre todas las áreas que atañen al desarrollo del nuevo sistema.

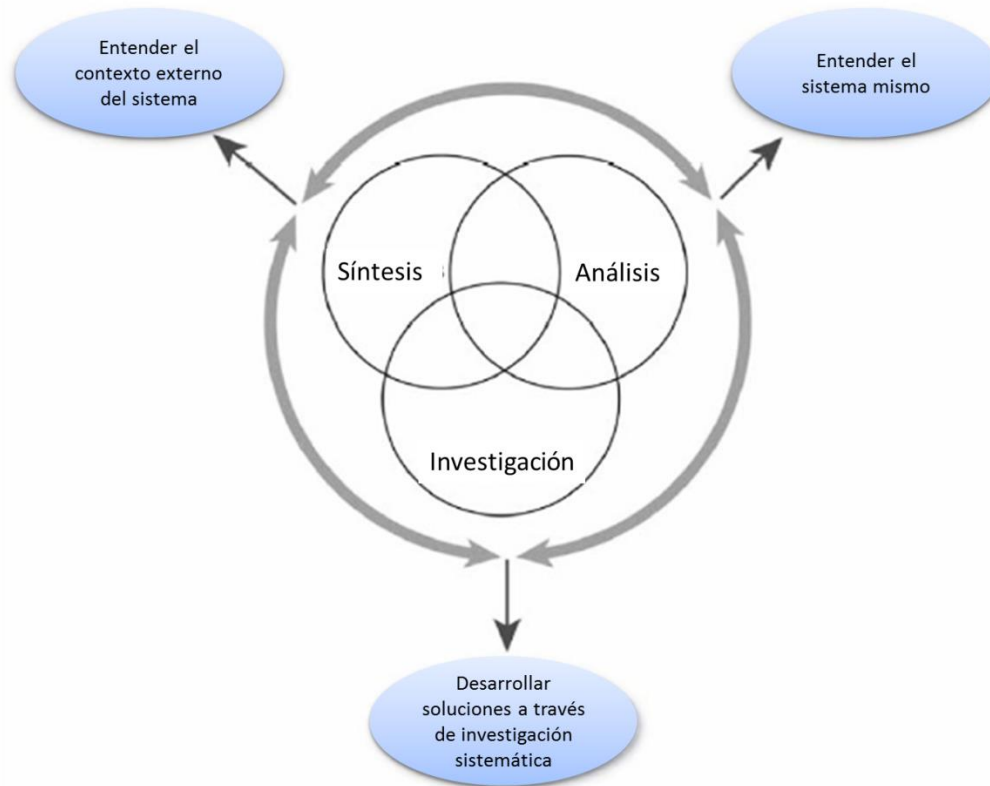


Figura 2.5 Enfoque de sistemas [1].

Este enfoque de sistemas comenzó a integrarse con el área ingenieril de manera un poco formal en la época de la Segunda Guerra Mundial (1939-1945), aunque la forma de trabajar data de mucho tiempo atrás. Antes de esta fecha los arquitectos e ingenieros civiles eran quienes hacían esta vinculación en grandes obras de construcción como: las Pirámides Egipcias, los Acueductos Romanos, el Puente *Golden Gate*, el edificio *Empire State*, entre otros [2].

A comienzos de la década de 1940 surge en los Laboratorios Telefónicos Bell el término "Ingeniería de Sistemas" (*Systems Engineering*) para referirse a los conceptos que la compañía había estado usando desde 1900 y sus aplicaciones durante la Segunda Guerra Mundial. El Departamento de Defensa de los Estados Unidos comenzó su uso hacia finales de esa década mediante su aplicación en el desarrollo de misiles y sistemas de defensa [3].

De esta manera la ingeniería de sistemas es un área con enfoque multidisciplinario y medios que permiten la realización de sistemas exitosos. Se centra en la definición de las necesidades del usuario y la funcionalidad requerida en etapas tempranas del ciclo de desarrollo, documentando los requerimientos, luego procediendo con la síntesis del diseño y la validación del sistema mientras se considera el problema completo, es decir, como un todo y no por sus partes únicamente.

Muchos modelos se han desarrollado a través de los años para identificar los pasos a seguir en un enfoque de ingeniería de sistemas. No obstante, en este trabajo se desarrollará con base al modelo “V” o “Vee” y con mayor enfoque en la clara definición de requerimientos en todas las etapas como se observa en la figura 2.6.

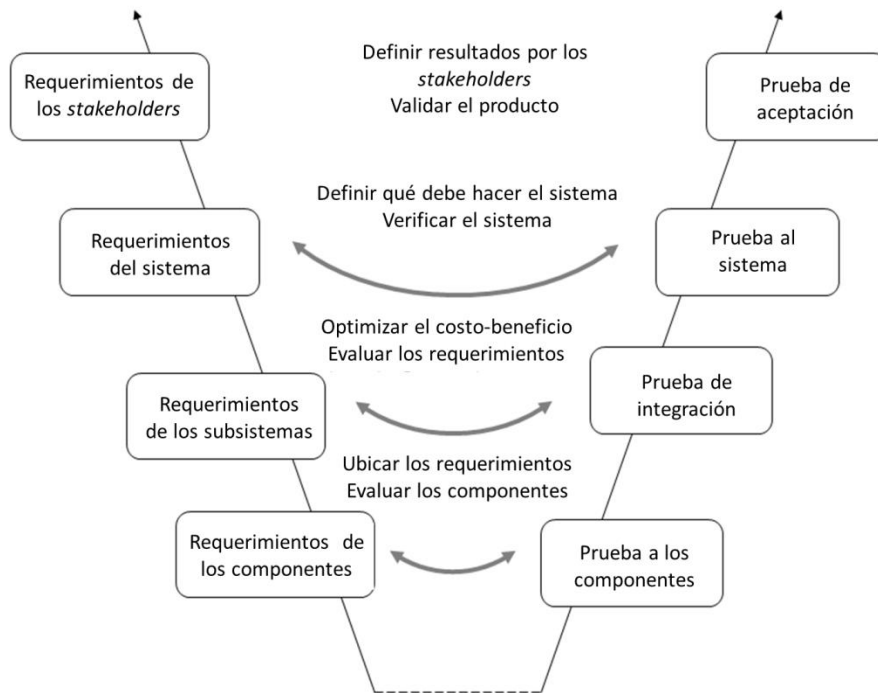


Figura 2.6 Requerimientos en el modelo “v” [4].

Este modelo fue desarrollado de forma inicial en la década de los 80, en Alemania y refleja un enfoque *Top-down* y *Bottom-up* en el desarrollo de sistemas. En el modelo *Top-down* se hace un resumen del sistema, sin entrar en detalles. Cada parte del sistema se refina a medida que se va avanzando en el diseño. Esto implica que cada nueva parte es redefinida aumentando cada vez el grado de detalle, hasta que la especificación completa es lo suficientemente detallada para validar el modelo. Por otro lado, en el diseño *Bottom-up* las partes individuales se diseñan con detalle y luego se enlazan para formar componentes más grandes, que a su vez se va integrando hasta que se forma el sistema completo.

El modelo “V” ocupa un enfoque *Top-down* en el lado izquierdo en donde se observa como las necesidades del consumidor van evolucionando, generando requerimientos que se convierten en diseños: preliminar y detallado; mientras en el lado derecho se va dando el proceso de integración, verificación y validación de todo a través de un enfoque *Bottom-up*. A lo largo del documento se irán desarrollando los puntos mencionados con anterioridad y se reportará su uso en la solución de las necesidades particulares que atañen al proyecto.

2.2. ORIGEN DEL PROYECTO.

La Universidad Nacional Autónoma de México y en particular el Departamento de Mecatrónica de la Facultad de Ingeniería, ubicado en Ciudad Universitaria, se caracteriza por la integración de los conocimientos teóricos proporcionados en las aulas y su aplicación en la solución de necesidades presentes en la sociedad. De manera específica, el departamento se encarga de generar nuevos productos (computacionales, mecánicos, comerciales o industriales) y así contribuir a la creación de nuevas áreas de desarrollo e investigación entre alumnos, académicos e industria.

Esta capacidad de generar soluciones no sólo es conocida al interior de la institución sino también por distintos tipos de empresas, organismos gubernamentales y personas con diversos intereses y profesiones que buscan en el departamento soluciones innovadoras, confiables y más competitivas que las existentes en cuanto a funcionalidad y precio. Por dicha razón, el proyecto a desarrollar en este trabajo, surge como respuesta a una necesidad recibida en el Departamento de Mecatrónica y a la que se busca darle solución de manera efectiva y satisfactoria para las partes involucradas.

Inicialmente, la petición para realizar el proyecto se recibió por parte del Dr. Osorno, quien tenía conocimiento del trabajo del Departamento de Mecatrónica en cuanto a innovación, tecnología y desarrollo de proyectos. El Doctor buscaba ayudar a la Mtra. Margarita Carpio a encontrar una solución efectiva y satisfactoria al bajo volumen y calidad de voz que posee. El problema de la maestra se deriva de una serie de complicaciones presentadas durante una operación médica de la tiroides y que dieron como resultado una afonía permanente, la cual ha dificultado su desempeño profesional diario (clases, conferencias, seminarios).

Esta contrariedad le ha generado a la Mtra. Carpio gran incomodidad a la hora de comunicarse con grupos de alrededor de 10 personas pues necesita esforzarse demasiado para tratar de que su voz sea escuchada y en algunos casos sin alcanzar el éxito deseado. Desde el punto de vista físico, este esfuerzo repercute en daños mayores para sus cuerdas vocales y por tanto en un incremento del padecimiento que posee.

En la actualidad, la profesora hace uso de un sistema de amplificación de voz comercial, adquirido en México y de marca Steren que le permite expresarse sin gran esfuerzo; aun cuando posee características que no son de su agrado y que por tanto, busca sean mejoradas en el proyecto aquí descrito. La discusión más a detalle de las características mencionadas y las necesidades puntuales de la maestra, que para este caso funge como *cliente*, será realizada en capítulos posteriores dentro de un contexto formal de planteamiento y definición del problema.

2.3. ESTADO DEL ARTE.

En la actualidad, distintos tipos de personas hacen uso de amplificadores de voz para su vida cotidiana u ocasiones especiales (conferencias, reuniones, etc.); lo cual lleva a que existan ciertas opciones en el mercado que solucionan su problema en caso de que exista o simplemente mejoran su desempeño al hablar. De forma general, en México las soluciones de audio están más orientadas a grandes sistemas profesionales con potencias de alrededor de 40 Vatios y enfocadas a estar en un solo ambiente previamente definido.

Los amplificadores de voz portátiles (los más adecuados situándose en el contexto del proyecto) existentes en México son bastante clásicos y con poca variabilidad entre los modelos. Se encontró que la mayor oferta de estos dispositivos proviene de países orientales como China y Corea del Sur, teniendo una distribución razonable en España.

2.3.1. Descripción General

Los modelos encontrados se caracterizan fundamentalmente por poseer baterías AA para su suministro de energía además de tener dimensiones bastante considerables a raíz de esto. A continuación se hace una recopilación de las opciones existentes y sus características más relevantes.

Amplificador portátil para colocar en el cinturón.

Este dispositivo comercializado por la empresa Steren en México es el de uso cotidiano del cliente y el de mayor facilidad de adquisición en el país por lo que se tomará como representativo del mercado nacional. Consta de un micrófono acoplado a modo de diadema y está diseñado para tener cobertura de sonido de 35m. Se calcula que su tiempo aproximado de funcionamiento con las baterías AA que maneja (6 pilas) sería de entre 6 y 8 horas. Como su nombre lo dice está diseñado para ser usado en el cinturón [5].



Figura 2.7 Amplificador de Voz marca Steren.

Amplificador personal de voz VOISTA C10.

Es un amplificador personal de dimensiones pequeñas, desarrollado por la empresa NEXCOM Technology de origen oriental y distribuido en España a partir de 2008 por la compañía AVANTEAM. Este dispositivo se caracteriza por manejar una batería recargable de iones de litio que permite 30 horas de uso con solo 3 horas de recarga. VOISTA también puede utilizarse como altavoz externo para reproductores MP3, DVD, computadoras, etc. Consta de algunos accesorios como: bolsa de transporte, cargador, micrófono de cabeza, micrófono de solapa, clip para cinturón, cable estéreo, cable extensor para micro [6].



Figura 2.8 Amplificador personal voista.

Amplificador personal de voz MA2800.

Este amplificador fue desarrollado por la empresa Kec Innovations con origen en Singapur y que en la actualidad tiene capacidad de satisfacer la demanda de una amplia red de distribuidores y clientes en todo el mundo (Estados Unidos, España, Finlandia, Hong Kong, Indonesia, Malasia, entre otros).



Figura 2.9 Amplificador de voz MA2800.

El producto, es un equipo portátil que maneja para su alimentación pilas AAA Ni-MH las cuales pueden recargarse a través de un eliminador proporcionado, dado el circuito inteligente de carga que posee el dispositivo. Se estima que el tiempo de duración de las baterías es de 8 a 10 horas dependiendo si se ocupa en un ambiente exterior o interior. Adicionalmente, el producto posee un circuito anti-retroalimentación y una cápsula de condensador unidireccional para reducir la interferencia indeseada. Posee un micrófono a modo de diadema y la posibilidad de colgar el dispositivo en el cinturón o en el cuello [7].

Amplificador de voz Tunersys TA102.

Este amplificador desarrollado por la compañía China Tunersys involucra más funciones que los modelos anteriores. Con él es posible amplificar la voz captada a través de un micrófono de tipo diadema, además de ser usado como radio FM y reproductor de música MP3 que puede ser ingresada a través de un puerto USB del cual dispone. Esta conexión USB le permite recargar su batería de este modo o bien utilizando el eliminador proporcionado. La potencia del dispositivo es bastante alta por lo cual para aplicaciones más personales y locales resulta algo excesiva [8].



Figura 2.10 Amplificador de voz Tunersys TA102[8].

2.3.2. Características técnicas.

Como se observa en el apartado anterior, la mayoría de los amplificadores de voz portátiles son manufacturados y distribuidos principalmente en el continente asiático y en menor medida en Europa. En México, existe muy poco en relación a este tipo de productos por lo cual las características técnicas del existente se basan en tecnologías que han ido quedando atrás con el paso de los años. Por su parte los dispositivos desarrollados en Asia integran distintas características que requieren ser conocidas para un mejor desarrollo de este proyecto. En la tabla 2.1 se observa un resumen de estas características para cada uno de los modelos previamente ilustrados.

Tabla 2.1 Características técnicas amplificadores de voz portátiles.

Modelo	Potencia (W)	Tipo de alimentación y cargador	Peso (g)	Dimensiones (mm)	Micrófono			Tiempo	
					Direccionalidad	Sensibilidad	Relación señal a ruido.	De recarga (h)	De uso (h)
Steren	5	6 pilas AA (9V). El cargador está incluido.	390	180 x 80 x 65	Desconocida	No registrada	No registrada	Desconocido	6 - 8
VOISTA C10	7	2 Baterías Li-ion (3.7 V x 2). Cargador a C.A	280	85 x 130 x 26	Unidireccional	-44 ± 3 dB	58 dB	3	30
MA2800	5	6 baterías AAA (9 V). Circuito inteligente de recarga.	175	72 x 70 x 36	Desconocida	-66 ± 4 dB	> 40 dB	8	10
TA102	25	Li-ion Polímero (7.4V). Cargador USB integrado.	355	85 x 38 x 105	Unidireccional	-53 ± 3 dB	No registrada	6 - 8	7 - 8

Con el fin de analizar más a fondo los dispositivos existentes, se toman datos de la tabla 2.1 y se presenta a continuación una figura con una gráfica en tres dimensiones donde se compara el peso y la potencia de cada dispositivo contra el tiempo de uso del mismo. La elección de los parámetros de las gráficas obedece a la importancia de la potencia como volumen máximo de amplificación, del peso como indicador de características físicas y del tiempo de uso del producto como medida de la capacidad energética del mismo.

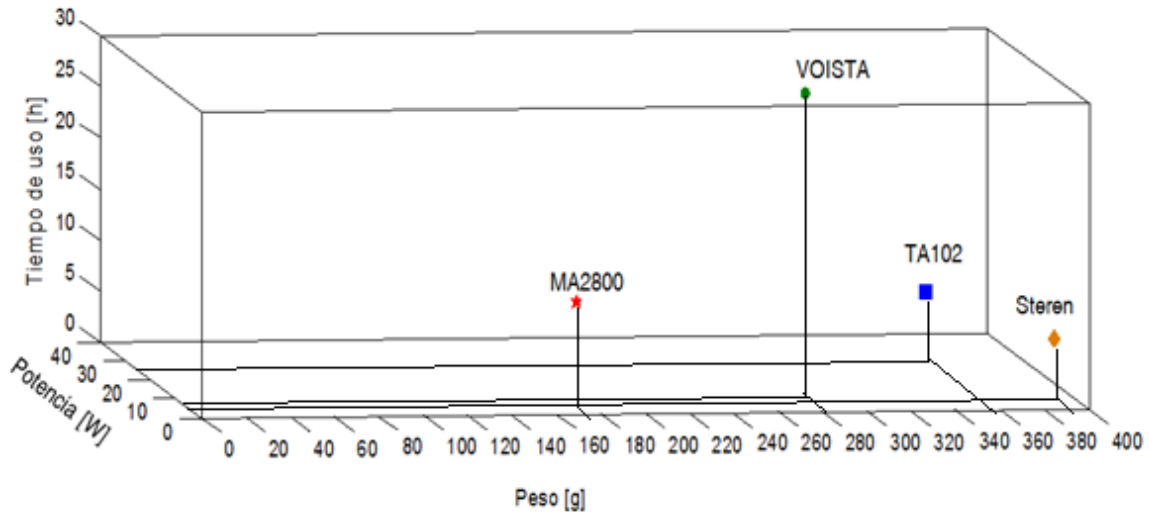


Figura 2.11 Características de los amplificadores portátiles de voz comerciales.

De la figura 2.11 se observa que el amplificador de voz Steren es el más pesado con una baja potencia y tiempo de uso. Por otra parte, se aprecia que el amplificador VOISTA es el más competitivo en tiempo de uso en relación a su peso y potencia; esta característica, es probablemente consecuencia del tipo de alimentación utilizada ya que ocupa el mismo tipo de tecnología de suministro de energía (baterías de iones de Litio) que el amplificador TA102, el cual posee un peso razonable para la potencia que suministra (25 [W]). De ese modo, se concluye que el gran desempeño de las baterías de iones de Litio (mismas que son utilizadas en los teléfonos móviles) hace necesario realizar un análisis en el ámbito de suministro de energía para determinar así su conveniencia en el proyecto.

Una investigación y análisis más detallados de la factibilidad y viabilidad de tecnologías se presentará en capítulos posteriores teniendo como base lo que se ha documentado como existente en el mercado y aquello que aún sin ser usado en la actualidad puede resultar benéfico para el diseño a desarrollar en este trabajo.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Dentro de las primeras etapas del proceso de diseño el planteamiento del problema sirve como guía de las fases posteriores por lo que su correcta realización le proporciona al diseñador una interpretación adecuada de lo que el cliente busca y a qué grado debe satisfacerlo el producto. Adicionalmente, una clara comprensión de las características deseadas y quién demanda su presencia, converge en un planteamiento adecuado del sistema y su posterior éxito a lo largo del ciclo de vida del mismo. De este modo, todas las partes interesadas en el proyecto se ven beneficiadas con la aplicación de un enfoque integral desde la fase inicial del proyecto.

3.1. NECESIDADES DEL CLIENTE.

Del latín *cliens*, el término *cliente* hace referencia a la persona que accede de manera directa a un producto o servicio a partir de un pago que realiza por el mismo [9]. En el caso del proyecto, aquí documentado, la Mtra. Carpio ocupa dicha posición y es por tanto quién plantea las necesidades que dan origen a este trabajo. Estas necesidades fueron escuchadas y registradas por el Departamento de Mecatrónica durante una serie de entrevistas que sostuvieron ambas partes en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería.

Actualmente, la clienta hace uso de un amplificador portátil marca Steren el cual adquirió desde hace un año y que le permite realizar parcialmente las actividades que involucran el uso de su voz. A pesar de que el tiempo de uso de este amplificador ha sido largo, gran parte de las necesidades de la Mtra. no han sido resueltas completamente e incluso, del uso del dispositivo, se han presentado eventos que en un principio ella no contemplaba como la falta de libertad en el desplazamiento y el gasto frecuente en baterías y cargadores.

Durante las entrevistas, la Mtra. Carpio manifestó hacer uso del sistema de amplificación de voz portátil en un salón o auditorio para sesiones de 30 a 40 minutos para dirigirse a grupos de 10 a 20 personas, con un promedio de 2 sesiones por día. En relación a las características físicas del dispositivo, la clienta describe que resultaba molesto el peso del dispositivo y su localización en la zona de la cintura por considerarlo antinatural. Al ser recibida la necesidad por parte del Departamento de Mecatrónica se acordó, que sería deseable que el producto a diseñar estuviera localizado a la altura del pecho y manejando una apariencia de joyería. De esta forma, con la entrevista realizada quedaron documentadas las necesidades a resolver y que más adelante con la ayuda de la clienta se buscarán verificar en las distintas etapas.

3.2. REQUERIMIENTOS DE LOS *STAKEHOLDERS*.

En el apartado anterior, se definió el concepto de cliente y se estableció quien fungía como tal dentro del proyecto descrito en este trabajo. Sin embargo, el enfoque de sistemas, durante un proceso de diseño, involucra la existencia de otros agentes dentro del contexto de definición de los requerimientos y en la validación final del producto, como es el caso de los *stakeholders*.

Los *stakeholders* son aquellas personas u organizaciones que tienen alguna responsabilidad, opinión, interés o influencia (directa o indirecta) en el sistema propuesto. Los tipos de *stakeholders* varían de acuerdo a la naturaleza del sistema y al grado de complejidad del mismo. Para el caso del producto aquí trabajado como son varias las partes involucradas, el diseño no sólo se limita a satisfacer las necesidades del usuario final sino también las de los demás *stakeholders* o partes interesadas [4].

Identificar a los *stakeholders* de un proyecto se debe realizar inmediatamente después de que se reciben las necesidades a solventar ya que ellos también hacen parte del planteamiento del problema. Para ubicar a las partes interesadas de un proyecto se debe realizar una visualización de escenarios en los cuales se desenvolverá el sistema.

Un escenario es un espacio físico o circunstancial que tiene influencia en la definición del sistema, ya que con ayuda de éste se deducen y analizan las posibles respuestas dadas por el sistema ante un mismo estímulo para distintos parámetros de inicio. A través de la visualización, se acelera la identificación de las distintas partes involucradas en todo el ciclo de vida del sistema y de manera integral se definen las expectativas y necesidades de todos los grupos en relación al dispositivo.

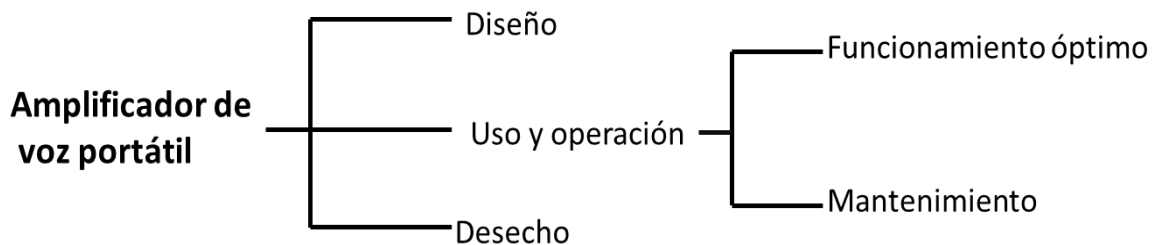
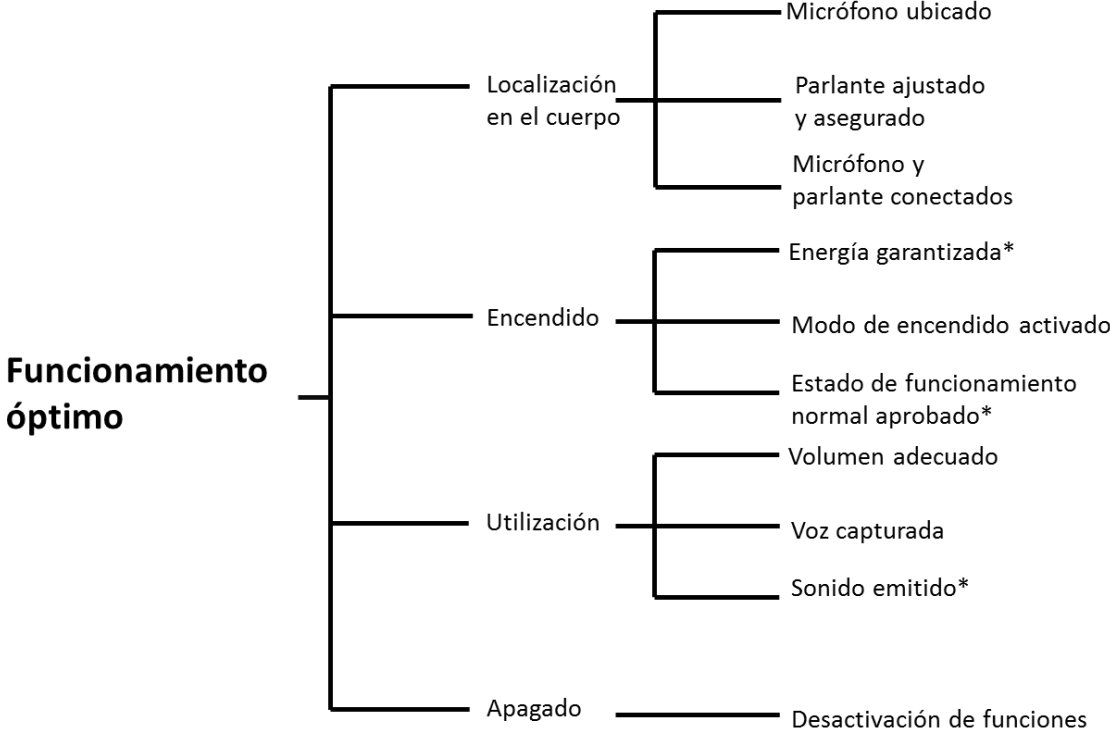


Figura 3.1 Escenario del ciclo de vida del amplificador de voz.

La figura 3.1 ilustra el escenario general del ciclo de vida del sistema portátil de amplificación de voz, el que también será conocido con el nombre de sistema FIVOX durante este trabajo. El escenario mostrado está constituido por el diseño, uso y operación y desecho del amplificador. Adicionalmente, se divide el uso y operación en dos subescenarios; ya que durante esta etapa del ciclo de vida, el producto está en constante interacción con el usuario, lo que genera mayores puntos críticos a considerar durante el desarrollo de este trabajo.



**La ausencia de estas condiciones transfiere el proceso al escenario de mantenimiento.*

Figura 3.2 Escenario de funcionamiento óptimo del sistema FIVOX.

En el diagrama anterior, se observa como en un escenario de funcionamiento óptimo del amplificador, el usuario final será capaz de interactuar con el dispositivo en varios niveles: localizándolo en su cuerpo, encendiéndolo, utilizándolo y finalmente apagándolo. De este modo, quedan documentadas las condiciones físicas y circunstanciales que deben cumplirse para el correcto funcionamiento del dispositivo. Igualmente, se deja constancia de que la ausencia de ciertas características, envían al dispositivo a un escenario de mantenimiento que se ilustra en la siguiente figura.

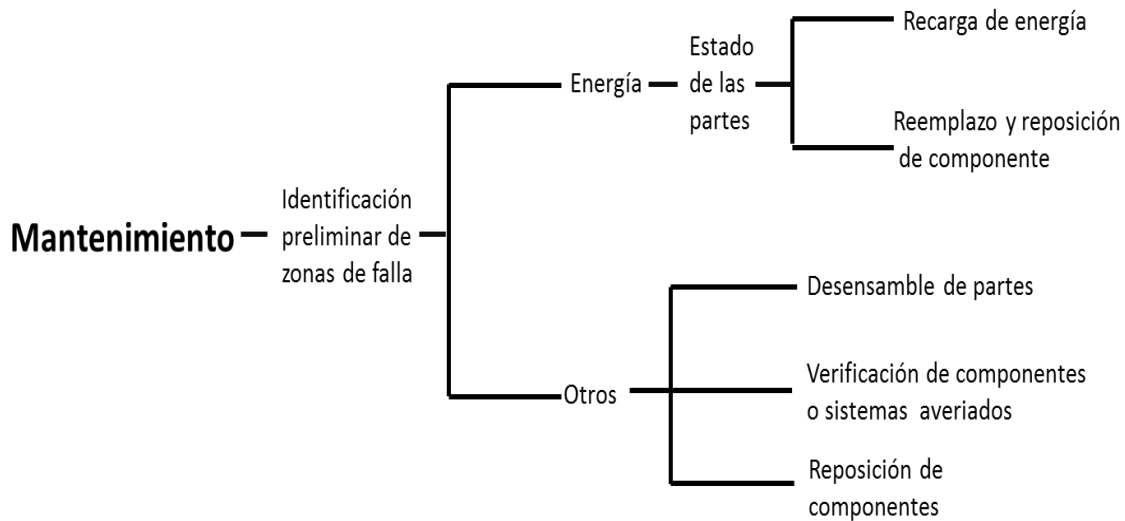


Figura 3.3 Escenario de mantenimiento del amplificador de voz.

El escenario de mantenimiento mostrado en la figura 3.3 permite observar como las exigencias de un dispositivo están ligadas no sólo al usuario final; sino a todas las partes involucradas, pues a lo largo del ciclo de vida del producto habrá momentos donde el usuario no es quien deba interactuar con el sistema. Para este caso, el estado de mantenimiento y supresión de fallas, involucra a distintos *stakeholders*, que aún sin tener relación directa con el dispositivo en la jornada tradicional de uso, deben ser capaces de recuperar la óptima funcionalidad del producto.

El estudio de los escenarios de mayor importancia para el dispositivo es una herramienta que facilita la comprensión de lo que se busca diseñar y proporciona una idea de las condiciones que deben existir para todos los casos en que se desarrolla el producto. Adicionalmente, el análisis realizado marca un avance en desarrollo del proyecto y es una antesala a la identificación clara y precisa de las partes interesadas involucradas, las cuales deben ser enlistadas y descritas antes de proseguir con el establecimiento de sus expectativas. En la mayoría de proyectos los *stakeholders* abarcan un sin número de individuos independientes y organizaciones (locales e incluso internacionales), no obstante, para cada producto el tamaño y naturaleza de la lista varía. Para el amplificador de voz FIVOZ hasta el momento se han detectado los *stakeholders* que aparecen a continuación:

- *Administradores:* El Departamento de mecatrónica ocupa esta posición al tener la responsabilidad del desarrollo y realización del proyecto, el cual debe ser estructurado bajo su guía y autorización. Ellos serán los encargados de dar soporte técnico al producto una vez este sea entregado al cliente y en caso de que se requiera mantenimiento.
- *Usuarios del sistema:* La Mtra. Margarita Carpio ocupa esta posición al ser quién tendrá contacto directo y continuo con el producto.
- *Experto en diseño mecatrónico:* La estudiante de ingeniería mecatrónica Natali Jaramillo Fernández, será quién esté a cargo de supervisar, guiar y aprobar el uso de componentes, implementación de circuitos o tecnologías.
- *Público general:* Personas que atienden las exposiciones orales realizadas por la Mtra. Margarita.

La generación de escenarios y la posterior identificación de los *stakeholders* de un proyecto permiten iniciar el proceso de análisis de los requerimientos del producto. Un requerimiento es un enunciado que ilustra una necesidad existente, que debe ser cumplida para satisfacción de las partes interesadas en un determinado proyecto. Adicionalmente, la definición de requerimiento se puede complementar con los siguientes apartados establecidos por el Instituto de Ingeniería Electrónica y Eléctrica (*IEEE*) [11]:

- (1) Una condición o necesidad de un usuario para resolver un problema o alcanzar un objetivo.
- (2) Una condición o capacidad que debe estar presente en un sistema o componentes de sistema para satisfacer un contrato, estándar, especificación u otro documento formal.
- (3) Una representación documentada de una condición o capacidad documentada como las descritas en (1) y (2).

De esta forma, un requerimiento representa un vínculo entre el funcionamiento del sistema y las expectativas de los *stakeholders* en el mismo. Un ejemplo del uso de este término se observa en los sistemas computacionales y en el desarrollo de software cuando existen demandas por parte de los usuarios para que haya compatibilidad entre distintos sistemas operativos (Windows, Linux, etc.) para un mismo programa.

Para que un grupo de requerimientos generen valor en el diseño de un sistema deben presentar una serie de características tanto individualmente como en grupo; tales características son descritas por [4] [10] y se enlistan a continuación:

1. Único: Cada requerimiento debe tener un código de identificación particular.
2. Factible: La realización del requerimiento debe ser posible tanto técnica como económicamente.
3. Claro: entendible cuando se lea.
4. Correcto: No se admiten errores ortográficos, numéricos o de otro tipo.
5. No ambiguo: Con sólo una interpretación.
6. Verificable: Se puede evaluar en cualquier punto del diseño.
7. Abstracto: El requerimiento no debe inducir ningún tipo de solución.

Adicionalmente, para que en conjunto un grupo de requerimientos sea bueno debe tener las siguientes características [4]:

1. Completo: Todos los requerimientos deben estar presentes.
2. Consistente: Ningún requerimiento debe entrar en conflicto con otro.
3. No-redundancia: Cada requerimiento se expresa una sola vez.
4. Trazable: Debe ser posible establecer para cada requerimiento una línea del tiempo en la cual se indiquen sus orígenes y permita ser extendida a otras etapas del desarrollo del producto.

Dentro del surgimiento de un sistema, el análisis de requerimientos se lleva a cabo a varios niveles pues a medida que se avanza en el desarrollo del producto se necesita establecer demandas funcionales y de desempeño más precisas sobre cada componente. No obstante, para poder definir lo que se requiere en niveles inferiores del sistema y mantener como guía los deseos de las partes interesadas es necesario establecer en este punto del proyecto los requerimientos de los *stakeholders*. Para el caso del amplificador de voz portátil se presentan a continuación los requerimientos obtenidos a partir de entrevistas, análisis de escenarios e investigación del estado del arte.

Tabla 3.1. Requerimientos de los stakeholders del sistema de amplificación de voz portátil.

Necesidad	Stakeholders involucrados	ID	Requerimientos de los Stakeholders.
La Mtra. Carpio debe trasladarse de un lado a otro durante sus pláticas.	<ul style="list-style-type: none"> • Usuario/Cliente 	R01.	El amplificador será portátil.
La Mtra. Carpio acordó con el Departamento de Mecatrónica que el dispositivo se ubicara a la altura del pecho y con aspecto de joyería femenina.	<ul style="list-style-type: none"> • Usuario/Cliente. • Departamento de Mecatrónica 	R02.	El amplificador poseerá aspecto de joyería.
Durante las conferencias, clases y pláticas impartidas por el usuario la atención debe estar centrada en lo que este dice y no en sus accesorios/apariencia física.	<ul style="list-style-type: none"> • Usuario/Cliente. • Público general. 	R03.	El amplificador será discreto.
El usuario busca un sistema durable de modo que pueda repararse y no sea necesaria la adquisición de un nuevo producto. El Departamento de Mecatrónica debe resolver los problemas de soporte técnico una vez entre en uso el dispositivo.	<ul style="list-style-type: none"> • Usuario/Cliente. • Departamento de Mecatrónica 	R04.	El amplificador de voz será reparable en caso de falla.
La Mtra. Carpio debe trasladarse de un lado a otro durante sus pláticas. El Departamento de Mecatrónica debe mantener la calidad en los productos que realiza.	<ul style="list-style-type: none"> • Usuario/Cliente. 	R05.	El amplificador será confiable.
La Mtra. Carpio debe trasladarse de un lado a otro durante sus pláticas.	<ul style="list-style-type: none"> • Usuario/Cliente. 	R06.	El usuario se colocará el amplificador de voz de forma rápida.
El usuario tiene varias sesiones al día y no siempre el amplificador debe estar en uso.	<ul style="list-style-type: none"> • Usuario/Cliente. 	R07.	El usuario encenderá el sistema cuando sea de su conveniencia.
El cliente busca que su voz sea escuchada de forma clara y manteniendo el tono y timbre con el cual sale de su boca.	<ul style="list-style-type: none"> • Usuario/Cliente. 	R08.	El amplificador reproducirá la voz del usuario con la menor distorsión posible.
El usuario ocupa el sistema en un promedio diario de 2 sesiones de 30 a 40 minutos cada una.	<ul style="list-style-type: none"> • Usuario/Cliente. 	R09.	La energía del sistema será suficiente para que funcione durante un día de jornada laboral del usuario.
La Mtra. Margarita usará el amplificador en espacios cerrados de tamaño pequeño y mediano como los salones de clase.	<ul style="list-style-type: none"> • Usuario/Cliente. • Público general. 	R10.	El amplificador emitirá sonido suficientemente audible para un salón de clases.

La tabla 3.1 enlista los requerimientos de los *stakeholders* así como las necesidades que dieron origen a tales. En este nivel, los requerimientos son expresiones no-técnicas relacionadas con las capacidades del dispositivo, es decir; marcarán la pauta sobre todo lo que poseerá y hará lo que se está diseñando. Así mismo, estos permitirán dar seguimiento a las demandas de las partes interesadas durante las demás fases del trabajo.

3.3. DEFINICIÓN DEL SISTEMA.

La definición del sistema es la etapa que actúa como vínculo entre el planteamiento del problema y las acciones que llevan a su solución. En esta fase, tomando los requerimientos de los *stakeholders*, las investigaciones realizadas con respecto a los dispositivos existentes y la experiencia previa que se tienen en el diseño de productos mecatrónicos, se realiza un diagrama de lo que es el sistema de amplificación de voz portátil, teniendo como prioridad el evitar inducir soluciones que direccionen anticipadamente el proceso. De ese modo, la definición del sistema proporciona a las personas involucradas en su diseño las pautas sobre lo que el sistema debe hacer y no el cómo hacerlo.

Definir un sistema, es un proceso iterativo en donde únicamente se plantean bases que sirvan en el posterior desarrollo técnico de los subsistemas. Como ya se definió, un sistema está en constante interacción con todas las partes que lo conforman y con los agentes externos que lo rodean y contribuyen a responder la pregunta ¿qué debe hacer el sistema?

Para el caso de este trabajo, a modo general, el sistema FIVOX recibe la voz del usuario y genera como salida el mismo patrón de voz pero de mayor magnitud y con capacidad de ser escuchado en un salón de clases. No obstante, para la definición completa del sistema es importante mostrar su relación con el exterior así como su constitución interna; la siguiente figura muestra el primer diagrama propuesto para el sistema de amplificación de voz portátil.

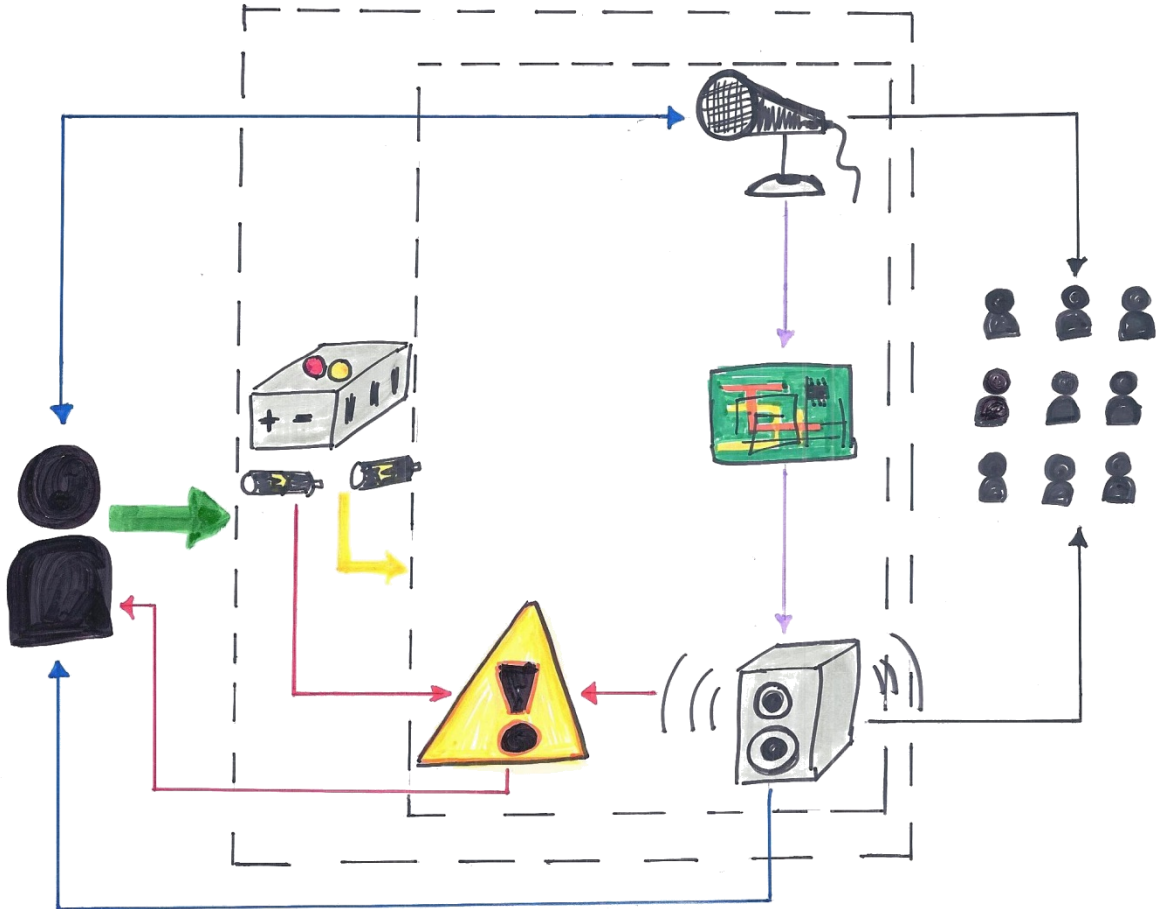


Figura 3.4 Diagrama inicial del sistema de amplificación de voz portátil.

La figura 3.4 muestra un primer concepto del sistema, dentro del cual se destaca la descomposición sistema total en dos subsistemas: uno encargado de la parte funcional del dispositivo y otro del suministro energético; los cuales interactúan a través de una interfaz de una sola vía como lo muestra la flecha de color amarillo que los une. A pesar de que el diagrama muestra de forma explícita las interacciones existentes al interior del sistema, con el medio externo y con los *stakeholders*, el concepto del subsistema funcional no está completamente descrito. En esta imagen, los componentes del subsistema mencionado se ilustran como elementos singulares y no como conjuntos de componentes que involucran más de un tipo de elemento (mecánico, eléctrico, de sujeción, entre otros). Tomando como guía la figura anterior y haciendo un análisis más minucioso del sistema (subsistemas, elementos, interacciones), se presenta la siguiente figura en donde aparece el diagrama modificado del sistema.

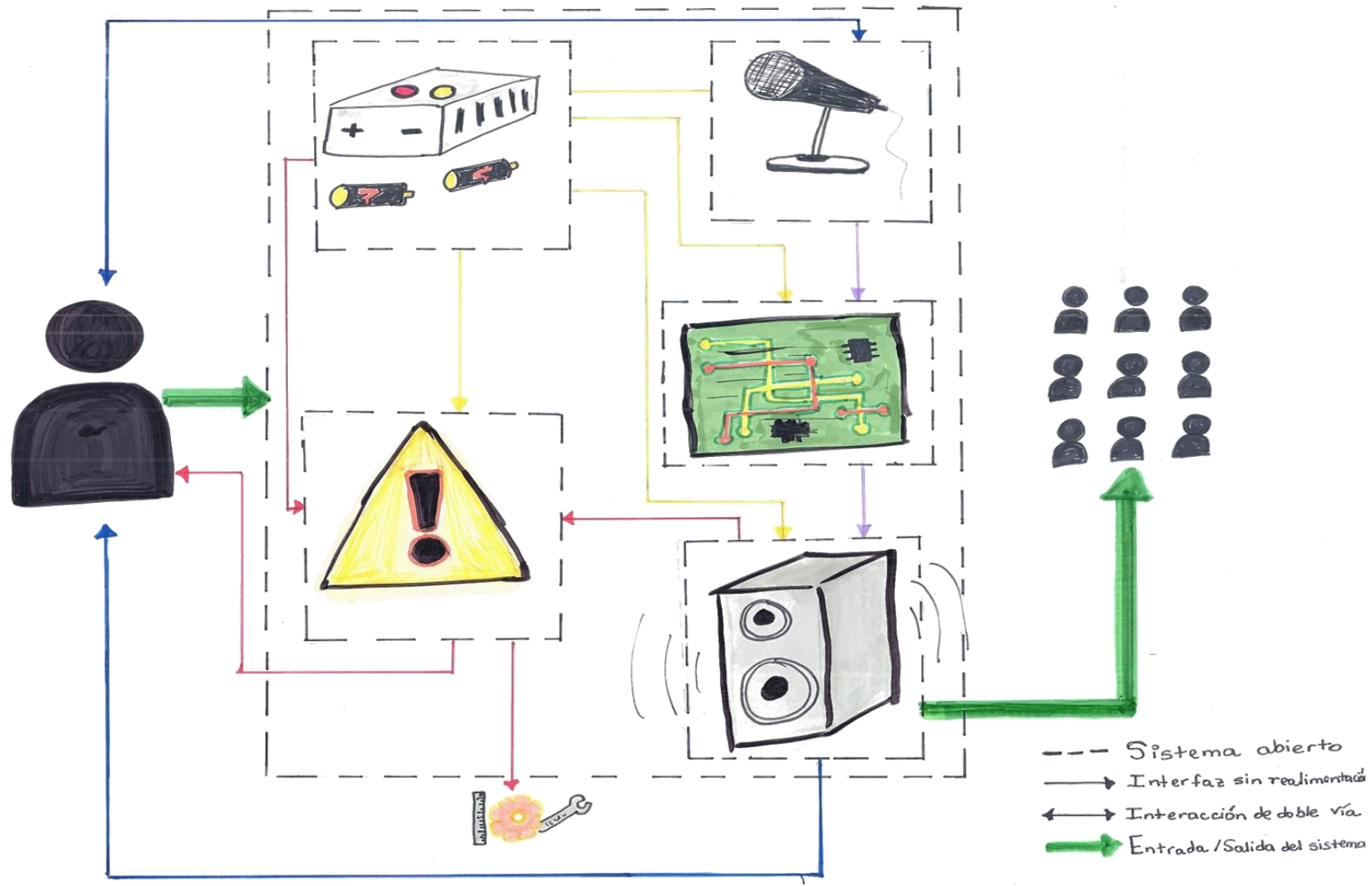
























Figura 3.5 Diagrama del sistema amplificador de voz.

La figura anterior es la representación final del sistema, obtenida para esta etapa y con modificaciones en relación al primer diagrama planteado. En primer lugar, este nuevo esquema muestra como el sistema total está integrado por cinco subsistemas que interactúan entre sí y de modo tanto general como particular con los *stakeholders*. Dicha reagrupación de los elementos del sistema obedece a la estructura de cada uno lo que implica sean analizados como un todo y no como simples elementos electrónicos o mecánicos. Por otro lado, dentro del contexto de las interfaces se considera un nuevo *stakeholder* que no aparecía en el diagrama inicial: el Departamento de Mecatrónica. Así mismo, se distingue que la interacción de tipo visual que existe con el público en general no sólo sale del micrófono y bocina como elementos particulares sino de todo el sistema como se observa en esta nueva figura. A continuación, se presenta la tabla 3.2, que muestra los subsistemas e interfaces existentes en el sistema FIVOX

Tabla 3.2. Subsistemas e interfaces existentes en el sistema de amplificación de voz portátil.

Subsistema	Interfaz			
	Tipo	Receptor		
		Subsistema	Stakeholder	
Energético	Una vía		Captura de voz	-
	Una vía		Procesamiento	-
	Una vía		Reproducción de voz	-
	Una vía		Control de Fallas	-
	Una vía		Control de Fallas	-
Captura de voz	Una vía		Energético	-
	Una vía		Procesamiento	-
	Dos vías		-	Usuario/Cliente
Procesamiento	Una vía		Energético	-
	Una vía		Reproducción de voz	-
Reproducción de voz	Una vía		Energético	-
	Una vía		Procesamiento	-
	Una vía		Control de Fallas	-
	Una vía		-	Usuario/Cliente
	Una vía		-	Público general
Control de fallas	Una vía		Energético	-
	Una vía		Energético	-
	Una vía		Reproducción de voz	-
	Una vía		-	Usuario/Cliente
	Una vía		-	Dpto. de Mecatrónica
SISTEMA TOTAL	Una vía		-	Usuario/Cliente
	Una vía		-	Público general

Las ventajas de comprender lo que se está buscando resolver y de las características que se demandan en el producto se verán reflejadas en el siguiente capítulo a través de las propuestas de solución.

4. SOLUCIÓN DEL PROBLEMA: DISEÑOS Y CONSIDERACIONES.

La fase de solución de un proyecto es el punto en el cual los objetivos del mismo empiezan a tomar forma y a materializarse a través de los distintos conceptos físicos que se proponen. La ingeniería de sistemas basa su éxito en la sinergia entre análisis, síntesis e investigación; sin embargo, hasta este punto del trabajo las actividades realizadas se han enfocado hacia los procesos de análisis y síntesis, con los cuales se obtuvo un entendimiento del sistema mismo y de su contexto externo. Por tal razón, para encontrar una solución adecuada al problema de diseño que se tiene, se debe agregar a lo ya obtenido una investigación completa y precisa de las tecnologías, materiales y mecanismos a utilizar para satisfacer las demandas que dieron origen al proyecto.

4.1. REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA.

Con el fin de responder a la pregunta ¿cómo solucionar el problema?, es necesario plantear los requerimientos que describen las características técnicas del modelo abstracto del sistema, contribuyendo así a la generación del modelo físico del mismo. Los requerimientos del sistema, son una evolución de los requerimientos de los *stakeholders*, que fueron obtenidos y analizados en el planteamiento del problema; de este modo las características técnicas a plantear y a evaluar en etapas posteriores deben ser coherentes con lo previamente decidido.

Como se ha venido observando a lo largo de este trabajo, las expectativas y demandas que tienen los *stakeholders* sobre el producto abarcan distintas áreas del desarrollo del mismo por lo que en la tabla 4.1, que se presenta a continuación, se destina una columna a definir el tipo de requerimiento que se tiene. De igual modo, se presentan los requerimientos de las partes interesadas asociados a sus correspondientes del sistema, se hace la identificación de estos a través de la etiqueta: **R###**.

Tabla 4.1 Requerimientos del Sistema de Amplificación de Voz Portátil.

ID	Requerimientos de los Stakeholders.	Requerimientos del sistema "NOMBRE".	Tipo de requerimiento.
R01.	El amplificador será portátil.	R011. El amplificador de voz será ligero.	Físico
		R012. El amplificador se energizará con un sistema de batería(s).	Funcionalidad
R02.	El amplificador poseerá aspecto de joyería	R023. El amplificador tendrá dimensiones similares a las piezas de joyería femenina existentes en el mercado.	Físico
R03.	El amplificador será discreto.		
R04.	El amplificador de voz será reparable en caso de falla.	R041. El amplificado de voz poseerá componentes comerciales. R042. El amplificador de voz será modular.	Mantenimiento
R05.	El amplificador será confiable.	R051. El amplificador de voz indicará un bajo nivel de energía.	Funcionalidad
		R052. El sistema poseerá componentes debidamente aislados.	Físico
R06.	El usuario se colocará el amplificador de voz de forma rápida.	R061. El amplificador tendrá un sistema de sujeción simple.	Físico/Interfaz
R07.	El usuario iniciará el sistema cuando sea de su conveniencia.	R071. El amplificador de voz será fácil de encender/ apagar.	Interfaz
R08.	El amplificador reproducirá la voz del usuario con la menor distorsión posible.	R081. El amplificador ocupará componentes especializados. R082. El sistema evitará la reverberancia.	Calidad
R09.	La energía del sistema será suficiente para que funcione durante un día de jornada laboral del usuario.	R093. El sistema funcionará con sólo una recarga energética diaria.	Funcionalidad
R10.	El amplificador emitirá sonido suficientemente audible para un salón de clases.	R101. El amplificador suministrará potencia acústica suficiente para reproducir la voz del cliente en un salón de clases.	Funcionalidad

4.1.1. Especificaciones del sistema.

Una vez obtenidos los requerimientos del sistema se procede a definir las especificaciones técnicas, con las cuales se proporcionan parámetros objetivos que guiarán las actividades a realizar de aquí en adelante. Las especificaciones permiten al diseñador plantear propuestas de solución precisas y lo más adecuadas posible a lo que se necesita. La tabla 4.1 presenta las especificaciones del amplificador de voz portátil y los requerimientos asociados a cada una.

Tabla 4.2 Especificaciones del sistema FIVOX.

ID	ESPECIFICACIÓN.	REQUERIMIENTOS ASOCIADOS.
E01	El amplificador de voz pesará menos de 200 [g].	R011
E02	El tiempo de colocación y sujeción del dispositivo no superará los 45 [s].	R061
E03	El encendido del sistema será de tipo <i>switch</i> de dos posiciones.	R071
E04	La bocina del amplificador de voz tendrá una potencia igual o superior a 2 [W].	R101
E05	El voltaje de alimentación será suministrado por una única batería.	R011, R012
E06	El peso de la batería será menor a 150 [g].	R011
E07	El tiempo de uso de la batería será mínimo de 6 horas.	R093
E08	El sistema cambiará el estado de un indicador cuando la batería se encuentre con 75% o menos de su energía.	R051
E09	La bocina del amplificador pesará menos de 50 [g].	R011, R023
E10	La profundidad de la bocina estará por debajo de 30 [mm].	R023
E11	El micrófono del sistema tendrá una sensibilidad mayor a -50 ± 3 [dB].	R081
E12	El micrófono tendrá una relación señal a ruido (SNR) por encima de 50 [dB]	R081

Cada una de las especificaciones definidas en la tabla anterior está relacionada con uno o más requerimientos del sistema, con lo cual se puede rastrear su origen desde la etapa de necesidades del cliente; facilitando así el establecimiento de los patrones objetivos que en ellas se expresan. En primer lugar, se definió que el peso total del amplificador fuera inferior a los 200 [g] ya que este valor representa el 51% del peso que posee el amplificador marca Steren; además, se realizó una medición a 5 collares femeninos y se obtuvo 60 [g] como promedio de peso lo que implica que los otros 140 [g] pueden corresponder a los elementos electrónicos y mecánicos del sistema (anexo II). Así mismo, para cumplir con el requerimiento de ligereza del dispositivo se definió que el sistema utilizara una sola batería para su alimentación y se estableció 150 [g] como el límite de peso que esta poseerá, ya que este valor corresponde al peso total que tienen las 6 pilas alcalinas AA usadas por el amplificador Steren. Adicionalmente, el tiempo de duración de la batería se definió como 6 horas máxima pues es el valor promedio que proporciona el amplificador nacional de referencia y con el cual se estaría 5 veces por encima del tiempo promedio de uso manifestado por el usuario (1 hora y 20 minutos). Por otro lado, para garantizar un mejor funcionamiento del sistema y un tiempo prolongado de vida de la batería, se establece que el sistema avise al usuario con ésta se encuentre por debajo del 75% de su carga total, ya que adicionalmente en este valor de voltaje muchos circuitos integrados dejan de trabajar.

En relación a la bocina a utilizar en el sistema FIVOZ, la mejor manera de establecer el valor mínimo de potencia acústica necesaria fue establecer un ciclo de pruebas con el usuario. De esta forma, después de realizar pruebas con bocinas de diferentes potencias (anexo III), se concluyó que es necesario manejar en el diseño una bocina de mínimo 2 [W] para que la salida de voz sea escuchada en un salón de clases; sin embargo, el valor que proporciona una salida altamente satisfactoria se sitúa en 5 [W]. A pesar de que la potencia de la bocina es uno de los factores decisivos en su elección, se establecieron otras especificaciones relacionadas con este elemento como lo son el peso y profundidad de la misma, valores que fueron tomados teniendo como base la portabilidad que demanda el producto así como el aspecto de joyería que se le debe dar.

Finalmente, como parte de las especificaciones se establece que el micrófono debe tener una sensibilidad mayor a -50 ± 3 [dB] pues además de ser el valor promedio manejado por los amplificadores de voz comerciales, cuánto más se acerque este valor a cero, mayor es la sensibilidad lo que implica una menor influencia del ruido eléctrico en etapas posteriores [12] [13]. De forma complementaria a esta especificación, se establece que la relación señal a ruido del micrófono debe estar por encima de los 50 [dB] ya que entre mayor sea este valor habrá más claridad y menos nivel de ruido en la señal captada [13]. Ambas características están ligadas al nivel de calidad que tendrá la salida del sistema y junto con las demás especificaciones son la base para definir el concepto solución que a desarrollar.

4.1.2. Medidas de desempeño técnico.

Una vez generadas las especificaciones del sistema se propone establecer el nivel de relación que tienen entre sí; para determinar las que serán de mayor importancia en la selección del concepto de diseño. Una herramienta que ayuda en el proceso de ponderación de especificaciones es la carta de comparación por pares (CCP); en la cual se utiliza la primera fila y la primera columna para escribir las características a evaluar y así, establecer el nivel de relación existente entre cada pareja seleccionada. La CCP da como resultado una matriz cuadrada, simétrica y binaria en donde al final se obtiene el valor de importancia para cada especificación. La siguiente imagen presenta la carta de comparación por pares del amplificador de voz y en ella se pondera “◊” si existe una relación entre las demandas o “x” en el caso contrario.

ESPECIFICACIÓN	E01	E02	E03	E04	E05	E06	E07	E08	E09	E10	E11	E12	TOTAL
E01	-	◊	x	◊	x	◊	x	x	◊	◊	x	x	5
E02	◊	-	x	x	x	◊	x	x	◊	x	x	x	3
E03	x	x	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x	0
E04	◊	x	x	-	◊	x	◊	x	◊	◊	x	x	5
E05	x	x	x	◊	-	x	◊	◊	x	x	x	x	3
E06	◊	◊	x	x	x	-	x	x	x	x	x	x	2
E07	x	x	x	◊	◊	x	-	◊	x	x	x	x	3
E08	x	x	x	x	◊	x	◊	-	x	x	x	x	2
E09	◊	◊	x	◊	x	x	x	x	-	◊	x	x	4
E10	◊	x	x	◊	x	x	x	x	◊	-	x	x	3
E11	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	-	◊	1
E12	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	◊	-	1
TOTAL	5	3	0	5	3	2	3	2	4	3	1	1	-

Figura 4.1 Carta de comparación de pares del sistema FIV0Z.

Como se observa en la figura anterior, la última fila de la tabla recopila la ponderación realizada para cada una de las especificaciones y en donde se destacan 3 de ellas como las de mayor importancia para este producto; de tal manera que durante la fase de diseño conceptual se debe prestar especial atención a: peso del amplificador menor a 200 [g], potencia del amplificador mínimo de 2 [W] y peso de la bocina inferior a 50 [g]. Así mismo, estas especificaciones serán tomadas como medidas de desempeño técnico, es decir, variables que son monitoreadas durante el proceso de pruebas para documentar su cambio con respecto al tiempo. Adicionalmente, los valores obtenidos en la ponderación para cada una de las especificaciones marcan una jerarquía que posteriormente será utilizada como parte de los criterios de selección entre las diferentes propuestas de diseño que se generen.

4.2. ANÁLISIS FUNCIONAL.

Una vez establecidas las especificaciones del producto y su nivel de correlación e importancia, se plantea el diagrama lógico del sistema, es decir, todas aquellas acciones que permiten cumplir con lo demandado por los *stakeholders*. Para obtener dicho esquema, se realiza un análisis de las funciones que el sistema desempeñará.

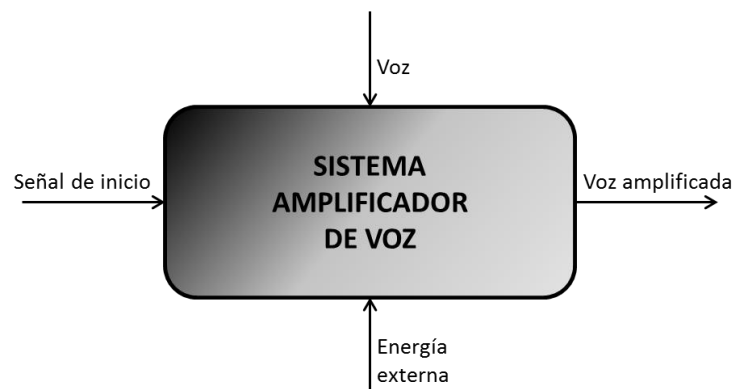


Figura 4.2. Diagrama de caja negra del sistema FIVOX.

La metodología tradicionalmente empleada para la descomposición funcional [14] marca la existencia de una función global, que se define como “caja negra” y dentro de la cual ocurren las acciones necesarias para transformar las entradas del sistema en las salidas esperadas. De la misma forma, esta función global se descompone en funciones secundarias con sus propias entradas y salidas que interactúan entre sí, dando paso al diagrama lógico total del sistema.

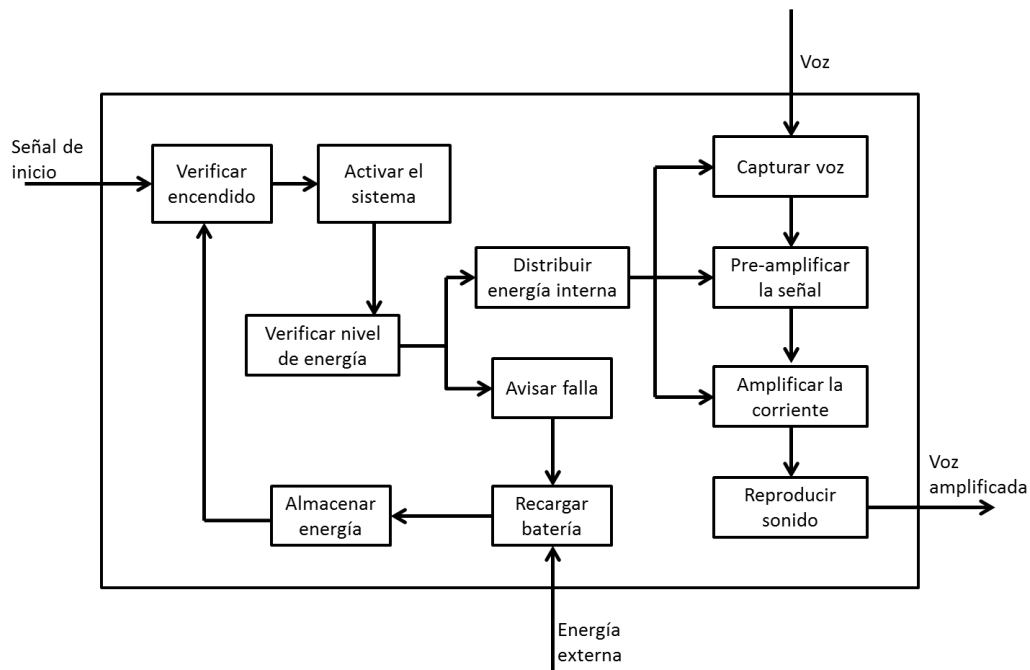


Figura 4.3 Diagrama funcional del sistema amplificador de voz portátil.

En la figura 4.3 se observa la descomposición del sistema FIVOX en 11 funciones internas y la relación existente en términos de sus señales de entrada y salida. Hay 3 señales de entrada en el sistema, siendo la señal de inicio la encargada de habilitarlo. Así mismo, para que a la salida se genere la voz amplificada, es necesario que ingrese al sistema la voz del usuario y se haga el procesamiento correspondiente hasta convertirla en la señal adecuada para ser propagada al exterior. Por otro lado, el diagrama de funciones muestra como alcance del proyecto, el uso de una fuente de energía interna y el ingreso al sistema de energía externa para su recarga, cuando sea necesario.

Las funciones planteadas para el amplificador de voz portátil están enfocadas hacia las áreas de energía, procesamiento de la señal de audio y verificación del encendido/apagado del sistema. De esta forma se observa como una vez recibida la señal de inicio se procede a su verificación, de la cual se desprende una activación del sistema en caso de que sus características sean las apropiadas ; posteriormente es necesario establecer si el nivel de energía es el adecuado para que el producto funcione, de ser así se prosigue a distribuir la energía entre las diferentes funciones electrónicas que lo requieren y en el caso contrario se avisa al usuario de la falla y se solicita el proceso de recarga, recibiendo en éste una entrada adicional (energía eléctrica externa). Dentro de las funciones de procesamiento de audio, una vez recibida la energía eléctrica requerida, el proceso es secuencial pues se inicia con la captura de la voz, se prosigue a su pre-amplificación para obtener un valor de voltaje necesario para el funcionamiento de la etapa de amplificación de corriente, la que a su vez proporcionará la potencia adecuada para reproducir la voz amplificada a través de la bocina.

4.3. ANÁLISIS DE TECNOLOGÍAS Y FACTIBILIDAD.

Todo diseño de un producto, si desea ser implementado, debe basarse en el uso de tecnologías que resuelvan las funciones involucradas en su conceptualización. No obstante, la inclusión o no de una tecnología en el desarrollo de un sistema debe someterse a una investigación precisa de lo que ofrece el mercado para cada ámbito y de la factibilidad que tiene su aplicación

Una vez definidas las funciones que componen el esquema lógico del amplificador de voz portátil y los subsistemas que lo conforman se debe investigar cuales son las opciones tecnológicas existentes para realizar cada actividad con la mejor relación costo beneficio.

A continuación se describen las tecnologías existentes para 3 ámbitos del sistema FIVOX: energía, captura de voz y amplificación de señales. Su elección proviene de las oportunidades de análisis observadas en la búsqueda del estado del arte y que serán profundizadas en los apartados posteriores.

4.3.1. Energía.

Debido a la relación al peso y a la portabilidad que demanda el producto uno de los aspectos sobresalientes para este proyecto es el manejo del suministro energético. Con las tecnologías emergentes disponibles en la actualidad, los diseñadores de objetos electrónicos portátiles están tratando de integrar mejores características energéticas en diseños más pequeños y compactos al tiempo que maximizan el ciclo de vida de las baterías que los componen. Dichos componentes son las fuentes de poder fundamentales para este tipo de dispositivos, por lo que seleccionar el sistema correcto de baterías para una aplicación determinada es uno de los factores más importantes en el proceso de diseño de sistemas portátiles [15]. Esta selección involucra la elección de un tipo de batería y su respectivo circuito de control de recarga. Dentro de las opciones existentes de baterías se destacan como parámetros importantes para su análisis la densidad de energía (tamaño y peso), los ciclos de carga y descarga (ciclo de vida) y la capacidad o duración de operación autónoma.

Tabla 4.3. Comparación de baterías [15].

Tipo de Batería	Peso de la densidad de energía (W-h/Kg)	Volumen de la densidad de energía (W-h/L)	Voltaje de operación (V)	Voltaje en circuito abierto (V)	Voltaje final (V)	Voltaje de carga (V)	Auto descarga por mes (%)	Resistencia interna (mΩ)	Tasa de carga/descarga (mA-h)	Tasa de descarga (mA-h)	Temperatura de operación (°C)	Costo inicial
Alcalina	145	400	1.2	1.6	0.9	NA	0.3	100-300	1	0.25C	-20±55	Muy bajo
Ácido de plomo sellado (SLA)	30-40	50-80	2	2.25	1.75	2.8	0.8	2.5-25	50-500	<15C	-20±50	Bajo
Níquel Cadmio (NiCd)	40-80	100-150	1.2	1.3	0.9	1.6	15-20	3.5-300	1500	<10C	-20±60	Bajo
Níquel e Hidruro metálico (NiMH)	60-100	160-230	1.2	1.3	0.9	1.5	20-25	10-400	800	<3C	0±60	Mediano
Iones de Litio (Li-ion)	110-130	210-230	3.6	4.2	2.8	4.2	06-10	50-500	1000	<2C	-20±60	Alto

La tabla 4.3 muestra 5 tipos de baterías junto a diferentes características sobre su desempeño. De la tabla, se observa que las baterías alcalinas no son recargables, aunque por su baja tasa de auto-descarga suelen usarse como fuentes portátiles de energía, a pesar de que existen modelos recargables de este tipo de batería no es recomendable su uso pues tienen una rápida degradación luego de pocos ciclos de recarga lo que produce baja confiabilidad en los sistemas que hacen uso de éstas. Por otro lado, las baterías SLA son soluciones poco costosas que tienen como ventaja una baja tasa de auto-descarga, no obstante, no son deseables para productos portátiles pues tienen una baja densidad de energía, pocos ciclos de carga/descarga y no son amigables con el medio ambiente [15]. Entre las baterías recargables presentadas en la tabla 4.3 la que tiene mejor índice de ciclos de carga/descarga es la de *NiCd* lo que la convierte en una mejor opción que la batería alcalina pues maneja su mismo voltaje, mas al presentar efecto de memoria (descarga completa necesaria para volver a cargarse) será necesario estarla reemplazando con una alta frecuencia. Las baterías de *NiMH* son la versión mejorada de las de *NiCd* pues poseen una mayor densidad de energía y materiales ambientalmente amigables, esta mejora tiene como consecuencia el aumento en el grado de dificultad del algoritmo de recarga en comparación al usado en las de *NiCd*; sin embargo, ambas manejan una alta tasa de auto-descarga y un efecto de memoria que las sigue haciendo poco viables para aplicaciones portátiles [15]. Finalmente, en relación a altos niveles de densidad de energía la batería que destaca es la de *Li-ion*, así también se observa de la tabla que tiene baja tasa de auto-descarga y el más alto voltaje ofrecido entre las opciones mostradas. Algunos de los factores que resultan negativos las baterías *Li-ion* son su alto costo y la necesidad de un circuito de protección durante la recarga para que no haya sobre voltaje durante el proceso.

De acuerdo a lo observado y analizado de la tabla 3.4 las baterías de *NiMH* y *Li-ion* son las que ofrecen mejores características para las aplicaciones portátiles que se desarrollan en la actualidad. La siguiente tabla muestra parámetros críticos para ambos tipos de baterías.

Tabla 4.4 Comparación baterías NiMH y Li-ion [15].

Parámetros	Li - Ion	NiMH
Voltaje nominal	3.6 V	1.2 V
Ciclo de vida	1000	800
Efecto de memoria	No	Sí
Costo (\$/[Wh])	2.5	1.3
Densidad de energía: Volumen ([Wh]/[L])	210-320	160-230
Densidad de energía: Peso ([Wh]/[kg])	110-130	60-100

A pesar del costo, las baterías de iones de Litio poseen ventajas significativas sobre las de *NiMH*. En primer lugar, las baterías de *Li-ion* ofrecen un voltaje nominal de 3.6V que sólo puede ser alcanzado con 3 baterías de *Ni-MH* lo que afecta al espacio requerido para almacenar las baterías pues una única batería de iones de Litio es más compacta y menos pesada, contribuyendo así a la portabilidad que se demanda en ciertos productos. Por otro lado, el efecto de memoria presente en las baterías de *NiMH* requiere un reemplazo de componentes con mayor frecuencia, elevando así el costo de mantenimiento a mediano y largo plazo; además limita al usuario a recargar la batería únicamente cuando se descarga completamente. De esto modo, con una mayor densidad de energía y las características anteriormente marcadas se perfila la batería de *Li-ion* como la opción más viable para el uso en aplicaciones portátiles. A pesar del análisis realizado previamente sobre los distintos tipos de baterías existentes es recomendable complementarlo con una investigación sobre las opciones existentes en el mercado nacional y el nivel de accesibilidad a su sistema de recarga. La tabla 4.5 ilustra la búsqueda realizada de las baterías, que con base a lo dicho previamente, pueden adaptarse mejor al sistema portátil de amplificación de voz.

Tabla 4.5 Opciones comerciales de baterías para el sistema FIVOZ.

DESCRIPCION	ESPECIFICACIONES	PROVEEDOR	DIMENSIONES [mm]	PESO [g]	COSTO (M.N)	CARGADOR	
						TIPO	PRECIO (M.N)
Pila recargable Niquel-metal, cuadrada.	9[V] / 200 [mAh]	Steren	26 x 48 x 17	-	\$88	Cargador pila AA, AAA, 9V	\$220
Batería Polímero-Litio Ion/2-pin JST-PH connector - 2mm / Protección Sobre corriente, sobre voltaje	3.7[V] / 1000 [mAh]	Sparkfun	5 x 33.5 x 5.9	22	\$150	Cargador especializado de Li-Polímero	\$420
	3.7[V] / 850 [mAh]	Sparkfun	5.7 x 29.5 x 48.27	18.5	\$115		
Batería Polímero-Litio Ion / Paquete de 2 celdas	7.4[V] / 500 [mAh]	Sparkfun	55 x 31 x13	39	\$65		
Batería Litio-Ion para cámaras digitales Canon	7.4[V] / 1080 [mAh]	Steren	Desconocidas	-	\$160	Cargador universal de Li-ion	\$250
Pila Ni-Cd recargable AA	1.2[V] / 700 [mAh]	Steren	Diámetro: 14 Altura: 50	11	\$67	Cargador pila AA, AAA, 9V	\$220
Batería Polímero-Litio Ion/ Protección sobre voltaje y sobre corriente	3.7[V]/ 850 [mAh]	Sparkfun	5.7 x 29.5 x 48.27	18.5	\$250	Circuito cargador USB incluido	
Batería de celular Nokia	3.7[V] / 1050 [mAh]	Casero	Desconocidas	-	-	Sujeto a Diseño	

Analizando todas las opciones sintetizadas en la tabla anterior, se obtuvo que las baterías más adecuadas en cuanto a la relación dimensión, precio, potencia y desempeño técnico son aquellas de *Litio-Ion* o Litio-Polímero. Tales baterías se consiguen comercialmente con voltajes de 3.7 [V] y 7.4 [V], siendo las segundas un arreglo doble de celdas de 3.7 [V]. Las baterías de Litio-Polímero son realmente baterías de Litio-Ion Polímero, que surgen como una versión mejorada de las de iones de Litio en cuanto a forma y tamaño reducido; su proceso de carga maneja un algoritmo similar al de sus antecesoras y en general los cargadores de un tipo funcionan también para el otro. Muchos dispositivos móviles como módulos Bluetooths o MP3s manejan baterías de Litio-Polímero por las ventajas dimensionales y técnicas que ya mencionadas [15].

Al encontrar que este tipo de baterías son las de mejor funcionamiento para el dispositivo portátil que se diseña en este trabajo, se debe analizar también la forma en la cual se recargará la batería. Se realizó una investigación que determinó que este tipo de baterías requieren un sistema especial para su recarga pues como se había mencionado necesitan circuitos de protección; lo cual no resulta atractivo si se piensa que ésta será usada en un producto comercial que debe ser amigable con el usuario. Dentro del tema, hay que destacar también que las baterías de 7.4 [V] requieren, de forma forzosa, del cargador documentado en la tabla pues al ser un arreglo de doble celda el algoritmo de recarga es más complejo, por lo que su uso dentro del proyecto incrementaría considerablemente los costos.

Una manera de solucionar el problema de recarga que se presenta al elegir una batería de iones de Litio o de Li-Polímero es el uso de controladores de manejo de carga fabricados por empresas proveedoras de circuitos electrónicos. Todos los controladores se caracterizan por ser circuitos integrados de montaje superficial y tamaño reducido lo que los hace ideales para una aplicación portátil. En relación al aspecto comercial, es más económico y adecuado comprar los controladores de recarga ya implementados en tarjetas de desarrollo que el circuito integrado para implementar; con esta compra se obtiene cierta confiabilidad sobre el circuito y sus conexiones ya que estas tarjetas pasan un proceso previo de control de calidad por parte de la compañía que las ensambla. Las compañías más conocidas por ser distribuidoras de estas tarjetas son Ebay, Sparkfun y Shoptronica. A continuación la figura 4.4 muestra un diagrama de conexiones para un cargador USB distribuido por la compañía Sparkfun y que utiliza el MCP73831 como circuito de control.

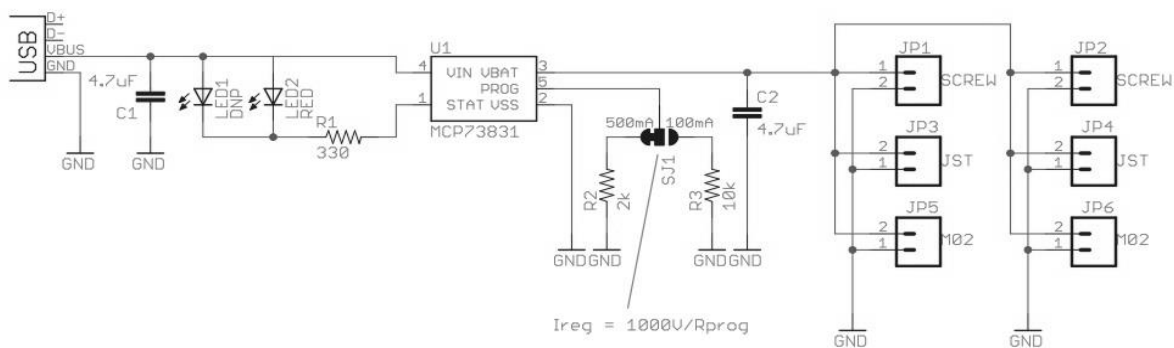


Figura 4.4. Circuito de un cargador USB [16].

4.3.2. Captura de voz.

Generalmente, el proceso de captura de voz y de sonidos se lleva a cabo a través de un transductor electroacústico conocido como micrófono. Tecnología que comenzó su desarrollo con la invención del micrófono condensador electret (ECM) a principios de los sesenta en los laboratorios Bell [17].

Los micrófonos se distinguen por la dirección en que captan el sonido y que por ende genera dos clasificaciones: omnidireccionales y direccionales. Los micrófonos omnidireccionales captan el sonido con la misma intensidad en cualquier ángulo de recepción de las ondas sonoras, mientras los direccionales tiene una mejor captación en una dirección, clasificándose a su vez en bidireccionales, semidireccionales o cardiodes.

Los micrófonos bidireccionales son aquellos que tienen una máxima sensibilidad al sonido que viene en un rango frontal y posterior al mismo; es un micrófono adecuado para ser utilizado entre dos locutores enfrentados. Por su parte los micrófonos semidireccionales captan con mayor intensidad los sonidos generados frente al mismo. Finalmente los cardiodes o micrófonos unidireccionales recogen los sonidos procedentes de puntos situados en toda la zona delantera del micrófono y son ideales para ser utilizados en zonas donde exista riesgo de realimentación acústica; existe una variante de este micrófono, llamada supercardioide, que es un tipo intermedio entre cardiode y el bidireccional [18].

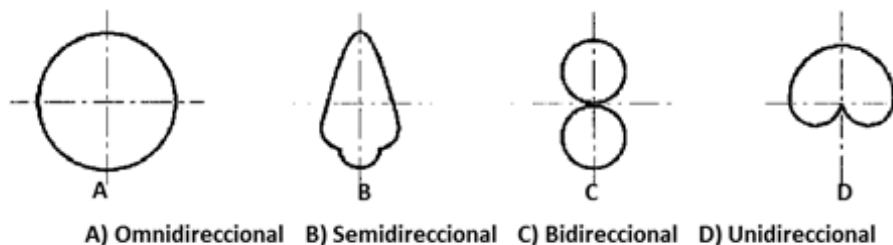


Figura 4.5 Curva de captación de varios tipos de micrófonos [18].

Otras características de los micrófonos abarcan aspectos como la captura del sonido y el ruido que genera tal captura. Por un lado se encuentra la sensibilidad como característica que evalúa la efectividad del micrófono como transductor y que se define como el nivel de tensión eléctrica (decibel por voltio, dBV) a la salida del micrófono; es un parámetro que da idea de la capacidad del micrófono para captar sonidos débiles. Entre mayor sea el valor de sensibilidad, más sensible será el micrófono. La sensibilidad puede variar en función de la frecuencia, por este motivo los fabricantes suelen dar la sensibilidad tomando un 1[kHz] y 94 [dB] como referencia [13].

De manera complementaria, una forma de evaluar un micrófono es a través de su nivel de ruido ya que cualquier aparato electrónico está sujeto a la presencia de ruido eléctrico. Los micrófonos producen ruido en ausencia de una perturbación acústica. El origen del ruido son las moléculas de aire que inciden el micrófono debido al movimiento térmico. El nivel de ruido propio se mide en decibelios de presión sonora usando la red de ponderación A (dBA SPL). La red de ponderación A asemeja el nivel de presión sonora, a cómo influye en un oído humano; esto es, como el oído no escucha igual en todas las frecuencias, la red de ponderación da más valor a las frecuencias a las que el oído humano es sensible, para calcular el nivel SPL total. Un nivel de ruido aceptable para un micrófono está en torno a los 40 [dBA] SPL, un nivel de ruido manejable serían 30dBA SPL y un nivel de presión sonora de ruido despreciable sería cualquiera menor a 20 [dBA] [12].

Finalmente, la calidad con que un micrófono trasduce el sonido se encuentra ampliamente relacionada con la distorsión que se pueda sufrir durante su captura. Se conoce como distorsión al conjunto de señales que aparecen en la salida de un sistema sin haber sido introducidas al mismo. En el caso de los micrófonos, los fabricantes no suelen dar el valor de la distorsión, por lo que es necesario orientarse con base a experiencia y pruebas sobre los componentes. Existen varias causas por las cuales se puede crear distorsión en los micrófonos: por un lado la distorsión interna puede ser causada por el efecto proximidad, resonancias internas, entre otros; mientras la distorsión externa se produce por sobrecarga o sobresaturación, *popping*, ruido de viento, ruido de vibración o golpeteo y se describen a continuación [18].

- Efecto proximidad: Es cuando se coloca un micrófono bidireccional o unidireccional muy cerca de la fuente sonora las bajas frecuencias aumentan su nivel en comparación con las frecuencias altas. A este efecto se le conoce también como acentuación de graves. Para evitar este efecto, algunos micrófonos llevan un dispositivo ecualizador limitado, también llamado atenuador de graves (*bass roll-off*).
- Sobrecarga: En general todos los micrófonos pueden generar distorsiones si las ondas acústicas tienen un nivel alto (sobrecarga), no obstante algunos micrófonos responden mejor que otros a estos excesos de presión.
- *Popping* y ruido de viento: es el que se produce al pronunciar fuertemente las consonantes labiales p, t, b, siendo los micrófonos direccionales los más afectados por este efecto. Para neutralizar estos efectos se utilizan o bien un filtro antipop interno, o bien una pantalla antiviento externa.
- Ruido de vibración: Existe siempre el peligro de que las vibraciones se transmitan a través del soporte del micrófono a éste. Para evitar los ruidos producidos por las vibraciones se deberá colocar el micrófono sobre una montura antivibratoria, la cual consiste en un dispositivo suspendido que aísla mecánicamente el micrófono de su soporte.

Una vez analizado el micrófono y sus características generales de desempeño, se presentan dos tecnologías que podrían ser utilizadas en el desarrollo del sistema de amplificación de voz portátil FIVOX. El micrófono condensador electret y el micrófono de sistema micro electro mecánico serán explicados en los apartados posteriores.

Micrófono condensador electret (ECM).

El micrófono condensador electret es un micrófono capacitivo altamente usado en todo tipo de aplicaciones de audio en la actualidad debido a su bajo costo y buen funcionamiento. El micrófono electret maneja dos tipos de direccionalidad: omnidireccional y unidireccional, el uso depende de la aplicación en donde se encuentran micrófonos de solapa, videograbadoras, amplificadores de voz, celulares, entre otro tipo de dispositivos.

Los micrófonos electret tienen un ancho de banda que va de 50 a 15.000 [Hz]. El principal inconveniente que presentan los micrófonos electret es que son muy sensibles a los cambios de humedad y temperatura, así como al polvo, lo que deteriora su rendimiento con el uso. Cuando un micrófono electret empieza a producir zumbidos aparentemente inexplicables, es una indicación de que debe ser sustituido, ya que ha terminado su vida activa.

Micrófono de sistema micro electro mecánico (MEMS).

Los dispositivos MEMS son dispositivos de nueva tecnología que integran elementos mecánicos, sensores, actuadores, y su propia electrónica en pequeñas dimensiones en un sustrato de silicio y se generan a través de un proceso de microfabricación.

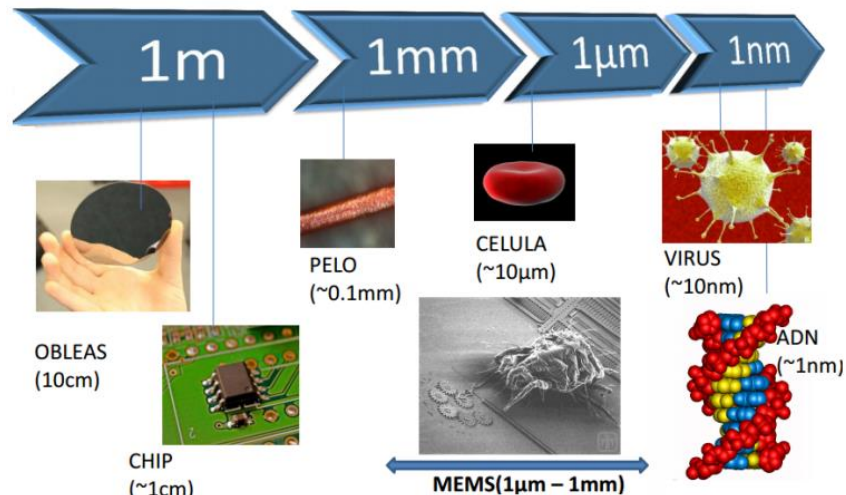


Figura 4.6 Escala comparativa del Tamaño de un dispositivo MEMS [19].

Las principales ventajas que ofrecen esta clase de microsistemas, además de su reducido tamaño (figura 4.6), están asociadas a los bajos costos debido a los procesos de fabricación en lotes para grandes volúmenes, el bajo peso que poseen en relación a la rapidez de su respuesta y la calidad de la información que brindan, el reducido consumo de energía que tienen, su biocompatibilidad y su nivel de confiabilidad para aplicaciones que son sensibles a tal parámetro.

Los micrófonos MEMS son dispositivos de montaje superficial cuya primera comercialización fue en 2003 cuando el Ing. Knowles lanzó al mercado el micrófono MEMS marca SiSonic. Knowles empezó el desarrollo de micrófonos MEMS a principios de los 90's. En esa época, su objetivo era aplicarlos en audífonos para mejorar la capacidad de escucha de las personas pero el enfoque cambió hacia el mercado de consumo dando pie a las aplicaciones en telefonía móvil. Desde entonces, los micrófonos MEMS han tenido un éxito considerable pues solucionan una de las debilidades clave del micrófono ECM: la reducción de sensibilidad producida por las temperaturas en el proceso de soldadura de reflujo [17].

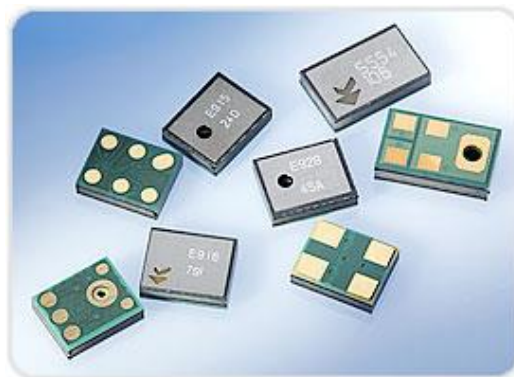


Figura 4.7 Micrófonos MEMS de montaje superficial.

Las principales compañías involucradas en la investigación, venta y desarrollo de micrófonos MEMS son Analog Devices and ST Microelectronics, para este trabajo se analizará el micrófono ADMP401 de Analog Devices el cual tiene las siguientes características:

- Dimensiones reducidas (4.72 [mm] x 3.76 [mm] x 1 [mm]).
- Montaje superficial.
- Sensibilidad de -42 [dBV].
- Ancho de banda de 100 [Hz] a 15 [kHz].
- Consumo de corriente menor a 250 [μ A].
- Relación señal ruido de 62[dBA]

4.3.3 Amplificación de señales.

Una de las funciones para cumplir con los objetivos del sistema es la pre-amplificación de las señales acústicas capturadas, ya que dependiendo de la correcta selección de los componentes a utilizar varía la calidad de la salida de esta fase. En esta etapa se busca incrementar el voltaje capturado por el micrófono hasta valores convenientes que puedan ser captados por el amplificador de corriente al que es entregada posteriormente la señal.

Para realizar la pre-amplificación de la señal de voz se hará uso de una tecnología comúnmente utilizada en el procesamiento de señales analógicas por su tamaño reducido y su fácil accesibilidad en el mercado: los amplificadores operacionales (op amp). Existen varios tipos de op amp en función de su aplicación y precio; por un lado se encuentran los amplificadores de propósito general a muy bajo costo en comparación a los amplificadores de instrumentación que son usados en el procesamiento de señales biomédicas, así mismo existen amplificadores de ganancia programable, algunos especializados para aplicaciones de audio, médicas, control automotriz, comunicaciones, etc.

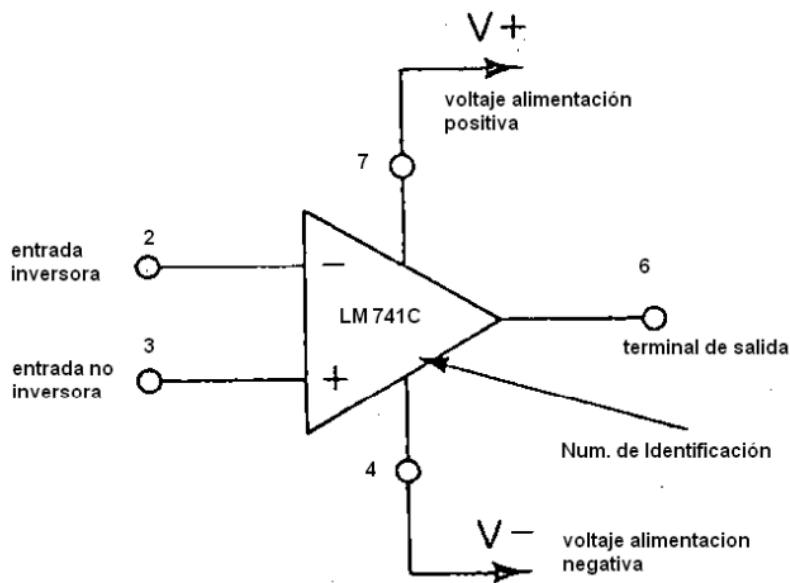


Figura 4.8 Amplificador operacional de propósito general [20].

A continuación se presenta un análisis comparativo entre 3 tipos de amplificadores: TL081 (propósito general), MAX4466 (amplificador de audio de Maxim) y el OPA344 (amplificador de audio de Texas Instruments), los cuales fueron elegidos por su fácil accesibilidad en el mercado y con el fin de obtener una perspectiva adecuada sobre el tipo de componente que debe usarse en el sistema FIVOZ para cumplir con los requerimientos planteados. Una de las características de un amplificador operacional es la cantidad de energía que consume, así como el tipo de fuente que debe suministrarla (simétrica o unipolar siendo esta la más utilizada en sistemas pequeños y con alta demanda de portabilidad). Para este proyecto se tiene como requerimiento el uso de una única batería así como el bajo peso y la portabilidad, lo cual se puede cumplir al manejar circuitos con voltaje unipolar y que tengan baja demanda de voltaje y corriente. La siguiente tabla muestra las demandas de corriente y voltaje típicas de los amplificadores a comparar que fueron tomadas de sus respectivas hojas de especificaciones.

Tabla 4.6 Comparación de corriente y voltaje de alimentación de 3 op amp.

CARACTERÍSTICA	TL081	MAX4466	OPA344
Voltaje de alimentación [V]	-18 y +18	+2.4 hasta +5.5	+2.5 hasta +5.5
Corriente de alimentación [μ A]	1400	24	150

Otra característica relevante en relación a la calidad de la señal que sale de un amplificador operacional es la relación de rechazo de modo común (CMRR). Idealmente la CMRR es infinita, pero el valor real es finito dependiendo del amplificador analizado. La CMRR es un parámetro importante cuando se utiliza el amplificador operacional en modo diferencial o a la hora de crear un amplificador de instrumentación. Una señal de modo común es una señal que se presenta en ambas entradas del amplificador diferencial con el mismo nivel de potencial. Idealmente un amplificador diferencial suprime o rechaza completamente las señales de modo común, sin embargo, debido al arreglo transistorizado embebido en el circuito parte de la señal de modo común puede llegar a amplificarse y tener presencia en la salida, generando así una señal de ruido inesperado. Es frecuente en instrumentación trabajar con señales diferenciales en presencia de interferencias electromagnéticas; estas señales de ruido se inducen en ambas terminales, por lo que interesara eliminarlas empleando amplificador operacional con alta CMRR [20].

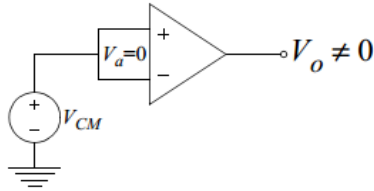


Figura 4.9 Efecto real de voltaje en modo común

De este modo y observando la figura 4.9 se puede definir una ganancia de modo común:

$$A_{CM} = \frac{V_o}{V_{CM}}$$

Se denomina razón de modo de rechazo común (CMRR) al cociente:

$$CMRR = \frac{A_d}{A_{CM}},$$

dónde A_d es la ganancia diferencial; por tanto entre mayor sea el CMRR mejor será el amplificador pues su ganancia diferencial será mayor que la de modo común.

Tabla 4.7 CMRR de los amplificadores operacionales analizados.

CARACTERÍSTICA	TL081	MAX4466	OPA344
Relación de rechazo de modo común	86 [dB]	126 [dB]	92 [dB]

La tabla anterior muestra la relación de rechazo de modo común de los amplificadores TL081, MAX4466 y OPA344 destacándose el MAX4466 como el de razón más alta y por tanto el mejor en este ámbito. Finalmente, el último aspecto a considerar dentro del análisis de factibilidad de las distintas opciones de amplificadores operacionales se encuentra la facilidad de adquisición comercial y de implementación. En el aspecto anterior se tiene que el TL081 es el amplificador operacional de mayor facilidad de obtención en el mercado nacional y a bajo costo; no obstante, su uso no es recomendado por las deficiencias que presenta en relación a otros modelos en los aspectos previamente discutidos y que se observan en las tablas 4.6 y 4.7. Por otro lado, se tiene que el amplificador de mejor características tanto en consumo energético como en la CMRR es el MAX4466, sin embargo, su comercialización en el mercado local es escasa por lo que sería necesario hacer su pedido en una tienda en línea para esperar su posterior envío, cubriendo todas las cuotas económicas que esto implica y que lo convierten en un candidato no muy atractivo en el ámbito financiero. Como última opción se tiene el OPA344 con desempeño superior al del promedio de amplificadores de propósito general y con alta accesibilidad al ser comercializado por la tienda SPARKFUN, la cual cuenta con distribuidores a nivel nacional y ofrece el circuito junto al micrófono MEMS ADMP401 en una tarjeta de desarrollo ya integrada.










4.4. DISEÑO CONCEPTUAL.

Una vez estudiadas las tecnologías que se pueden implementar en el dispositivo se procede a iniciar la etapa de diseño conceptual. Un diseño conceptual se define como aquel que representa la totalidad del objeto a través de una descripción, es decir, representa la interacción de todos los subsistemas y funciones que integran al sistema completo. El diseño conceptual está conformado por dos etapas, la primera de ellas es la generación de diversos conceptos a partir de las funciones y tecnologías propuestas y la segunda es la selección del concepto a desarrollar para cumplir con las especificaciones del sistema. A continuación se presentan ambas etapas.

4.4.1. Generación de conceptos.

Como se ilustró en el subcapítulo 4.2 se definen 11 funciones para el sistema portátil de amplificación de voz; no obstante, para la generación de conceptos se presentarán sólo 5 funciones con sus respectivas opciones, omitiéndose el resto de ellas porque su solución está previamente definida como una especificación, porque son abstractas o están ligadas a otras o bien sea porque su selección dependerá de factores de disponibilidad comercial, precios, en otros, que serán tratados posteriormente. A continuación se presenta la tabla 4.8 con las 5 funciones seleccionadas.

Tabla 4.8 Alternativas para diferentes funciones del sistema FIVOZ.

ALMACENAR- BATERÍA	AVISAR- FALLA	CAPTURAR- VOZ	PRE-AMPLIFICAR- SEÑAL	REPRODUCIR- SONIDO
 Bateria Li-ion 850 [mAh]	 Indicador luminoso	 Tarjeta micrófono MEMS	 Bocina Samsung	
 Bateria Li-ion Nokia	 Motor vibrador	 Mic. electret	 MAX4466	 Bocina HIBOX

La tabla anterior presenta dos alternativas de solución para funciones del sistema de amplificación de voz. De la tabla 4.8 se observa que en el área de energía se presentan dos opciones: una es la batería de Litio Polímero distribuida por la tienda Sparkfun y otra es una batería de Li-ion perteneciente a un celular Nokia y distribuida en cualquier tienda de refacciones para teléfonos móviles. Por otro lado se observa que la función de aviso de falla puede ser realizada por un motor vibrador de pequeñas dimensiones o por un LED que es el método tradicionalmente usado para la mayoría de sistemas de audio. Adicionalmente las funciones de captura de voz y pre-amplificación de señales pueden fusionarse en una alternativa de solución como lo es la tarjeta de desarrollo del micrófono MEMS distribuida por Sparkfun y que utiliza un amplificador OPA344 para generar de forma conjunta una salida del micrófono del orden de 200-300 [mV]. No obstante, existe la posibilidad de usar un micrófono ELECTRET y de forma separada conectarlo al sistema de pre-amplificación que estaría a cargo de una tarjeta de desarrollo que contenga al integrado MAX4466. Finalmente la reproducción del sonido se realizará por medio de bocinas de televisores, una de ellas de forma rectangular y perteneciente a la marca Samsung y la segunda con aspecto circular y de marca HIBOX (proveedor de bocinas en Taiwán).

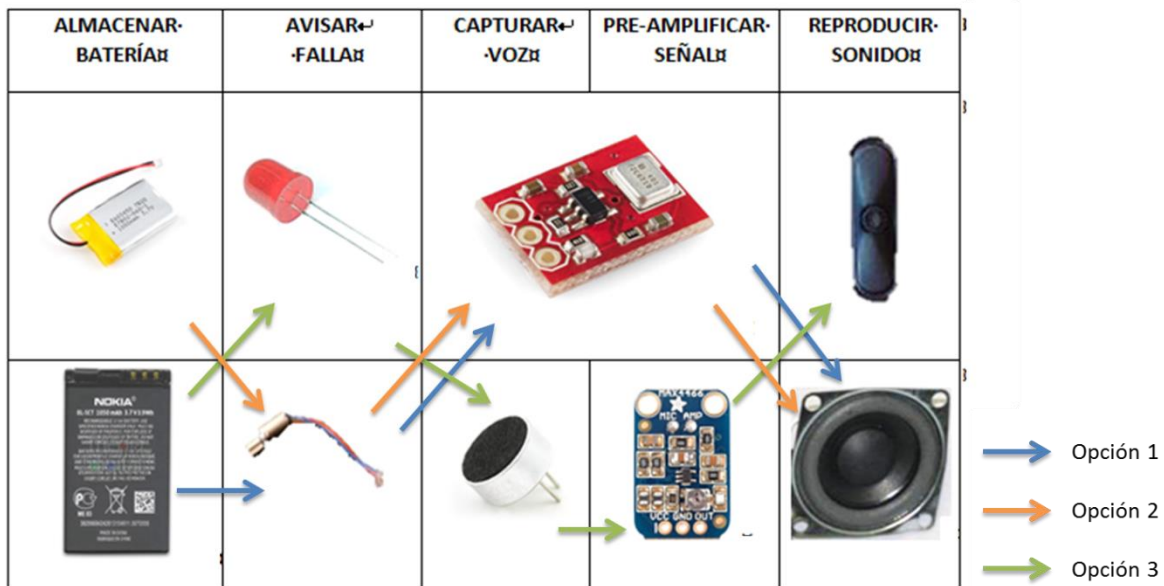


Figura 4.10 Conceptos del sistema portátil de amplificación de voz.

La figura 4.10 muestra a través de flechas los 3 conceptos que se tienen en el diseño del sistema FIVOX. La opción uno utiliza la batería de celular marca Nokia BL-5CT, la tarjeta de desarrollo del micrófono MEMS y la bocina circular, así mismo este diseño integra un motor vibrador de celular para avisar al usuario sobre la falta de energía. La siguiente figura muestra de forma gráfica el primer concepto que se tiene para el sistema.

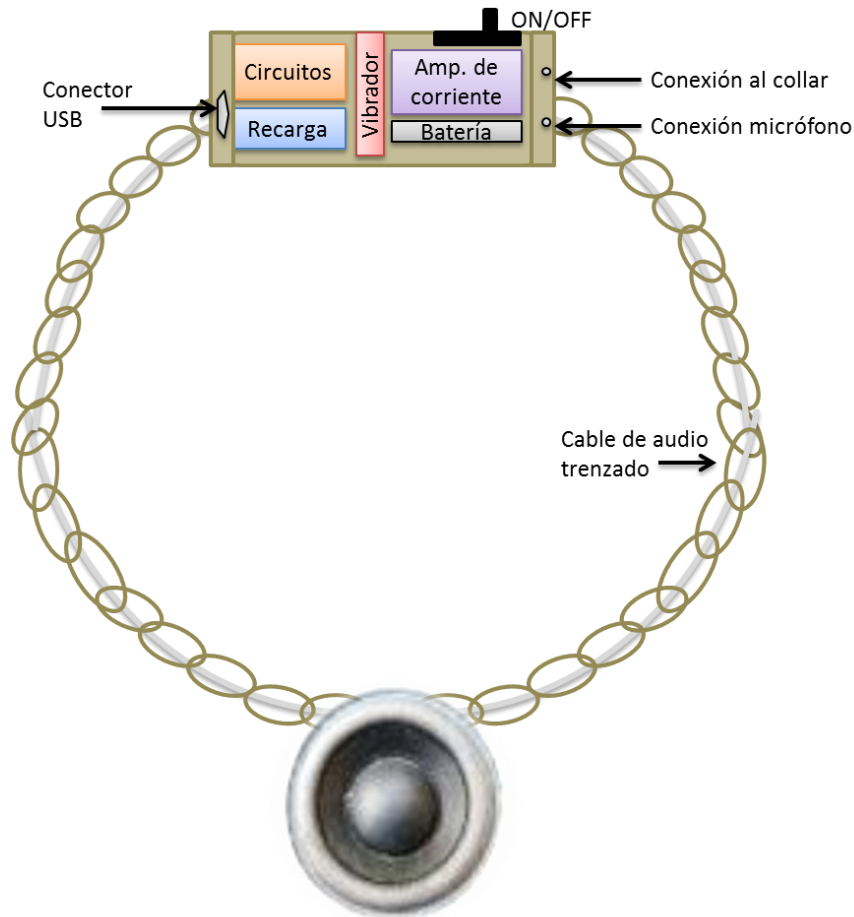


Figura 4.11 Concepto uno del sistema de amplificación de voz.

La imagen anterior ilustra un diseño, partiendo de la necesidad de tener aspecto de joyería, en el cual se localiza la bocina en la parte central, sujetándola con unas cadenas dentro de las cuales estará el cable trenzado que contiene las terminales de la bocina. El objetivo de este diseño es la reducción en el uso de cables y por tanto los ruidos asociados a esto. Por otra parte, se observa que en la zona de la espalda será necesario ubicar la batería, su respectivo circuito de recarga, la circuitería requerida para la distribución de energía y activación del motor así como el circuito del amplificador de corriente. Para esta propuesta se plantea el uso de un motor vibrador de celular ya que se considera una opción poco vistosa para el público en general pero bastante efectiva para el usuario del collar. El interruptor de ON/ OFF también se ubicará en la zona de espalda al igual que la entrada jack de 3.5 [mm] que conecta el micrófono con el sistema. Finalmente para la recarga de batería se plantea un conector mini USB que permita al usuario conectar el dispositivo a una fuente de alimentación accesible como por ejemplo, su computadora.

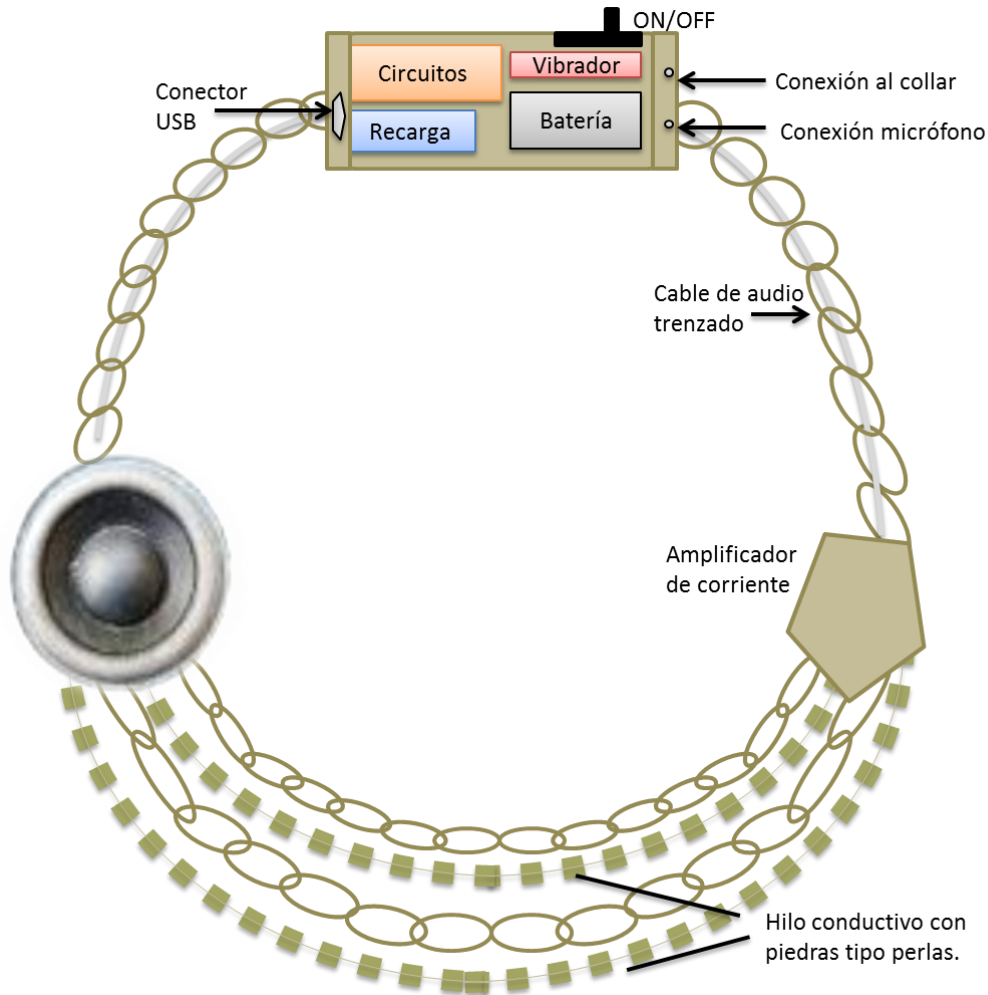


Figura 4.12 Concepto dos del sistema portátil de amplificación de voz.

La figura 4.12 muestra otro de los conceptos del amplificador de voz portátil en el cual se observa que el producto final sería un collar un poco más elaborado. El diseño es modular y busca el uso de elementos novedosos como lo es el hilo conductor que se usaría para colocar en él piedras tipo perlas que ayuden a aislar y evitar el contacto entre un hilo y otro, al tiempo que se mantiene la parte estética del producto. Las cadenas sirven de soporte para la bocina, que al ser sujeta por varias de ellas tendría poca posibilidad de giro y movimientos no deseados. Por otro lado, en la zona de la espalda se ubicaría la circuitería necesaria para la distribución y recarga energética, así como una batería de iones de Litio y de 3.7 [V] con 850 [mAh]. En relación al micrófono el concepto dos utiliza una tarjeta de desarrollo de micrófono MEMS con lo cual no es necesario dedicar espacio en la zona de la espalda para la pre-amplificación de la señal sino que ésta viene incluida con el micrófono en la pieza que se plantea para su sujeción. De esta forma, sólo será necesario conectar el micrófono a la pieza de la espalda a través de una entrada Jack de 3.5 [mm].

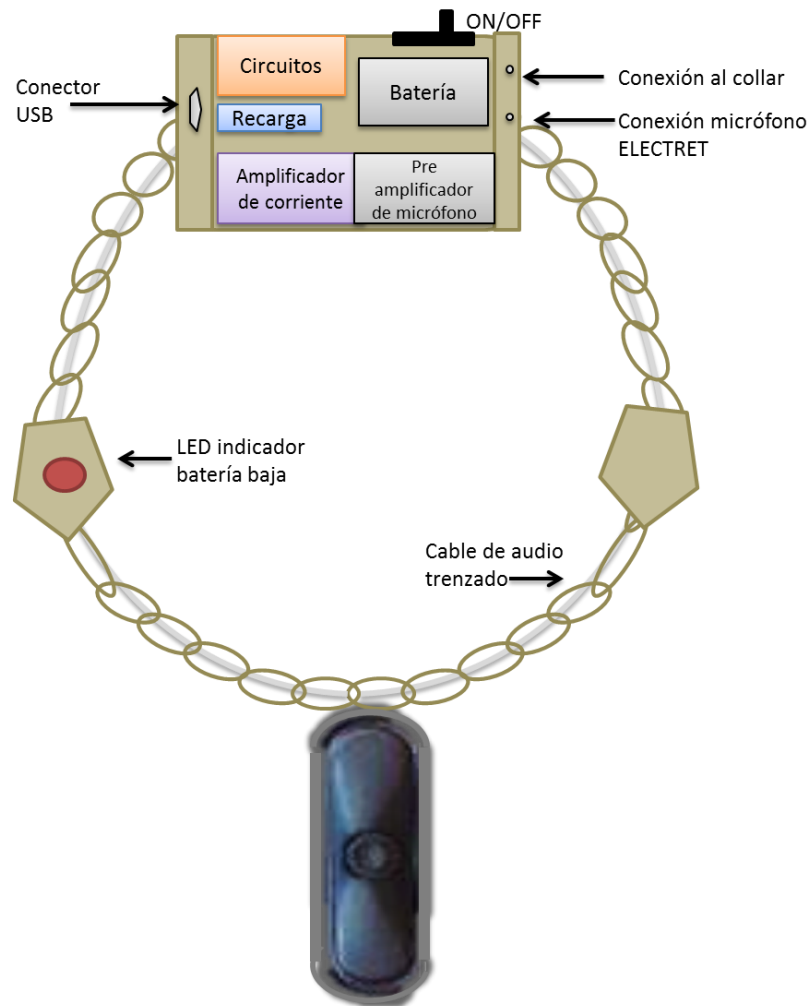


Figura 4.13 Concepto tres sistema FIVOX.

Finalmente, el último concepto generado para el sistema se muestra en la figura anterior. Esta propuesta está caracterizada por la simplicidad del collar y la diadema. De esta forma, todos los circuitos estarían localizados en la zona de la espalda al igual que la batería que para este caso sería la batería Nokia previamente mencionada. Este diseño envía todo el peso y dimensiones del producto a la parte trasera que queda oculta para el público en general y en él se utilizaría cable trenzado en la cadena para comunicar las dos terminales de la bocina con el resto del sistema. A pesar de la simplicidad del collar sería necesario agregar un par de piedras decorativas que contengan un LED que se encienda cuando la batería descienda los niveles definidos de voltaje para el funcionamiento del producto; lo que generaría que este concepto fuera un poco llamativo para el público en general en el momento en que el LED se encienda y todos, incluido el usuario, puedan verlo.

4.4.2. Selección de concepto.

La existencia de distintas propuestas de diseño para un determinado producto es una muestra de que son diversas las opciones para solucionar un mismo problema, no obstante; su conveniencia es determinada por las especificaciones que se hayan derivado de los requerimientos planteados por las partes interesadas. Para el caso del sistema de amplificación de voz portátil, en el apartado 4.1.2 se realizó la ponderación de las especificaciones del sistema y se obtuvo una jerarquía que será utilizada para evaluar los tres conceptos que se generaron en la sección anterior. La tabla 4.9 muestra la selección del concepto final.

Tabla 4.9 Selección del concepto final del amplificador de voz FIVÓZ.

Especificación	Ponderación	Concepto 1	Concepto 2	Concepto 3
E01	5	1	-1	0
E02	3	1	-1	0
E03	0	1	1	1
E04	5	1	1	1
E05	3	1	1	1
E06	2	1	-1	1
E07	3	1	-1	0
E08	2	1	1	-1
E09	4	1	1	1
E10	3	0	0	1
E11	1	1	1	-1
E12	1	1	1	-1
TOTAL		29	13	13

En la tabla anterior se observa la ponderación realizada para cada una de las especificaciones según su nivel de interrelación. Así mismo, se tienen los tres conceptos generados y su respectiva calificación con respecto al cumplimiento total (+1), parcial (0) o el no cumplimiento (-1) de la especificación asociada a cada línea y su respectiva ponderación. De esta forma, mediante la suma de productos de la columna de ponderación con la de cada concepto se obtuvieron puntuaciones para todas las propuestas, dos de ellas muy cercanas, aunque se destaca la configuración número uno como la de mayor cantidad de puntos y por tanto la seleccionada para ser desarrollada con mayor detalle como sistema portátil de amplificación de voz.

5. SISTEMA PORTÁTIL DE AMPLIFICACIÓN DE VOZ: FIVOX.

Al realizar la selección del concepto que se implementará como solución del problema se definen las bases para diseñar a detalle cada uno de los subsistemas que conforman al producto. Cada subsistema está conformado por su propia arquitectura que se encuentra delimitada por los requerimientos que se tienen de forma general y de manera particular para cada subsistema. De esta forma, en los subcapítulos que se presentan a continuación se describirá cada subsistema y sus correspondientes requerimientos así como su arquitectura, que es el vínculo entre las funciones y los elementos mecánicos-electrónicos que lo conforman. Adicionalmente para finalizar el capítulo se tratará en un subcapítulo la integración entre los subsistemas y por tanto la conformación del sistema total.

5.1. SUBSISTEMA DE CAPTURA DE VOZ Y DE PROCESAMIENTO DE SEÑALES.

El subsistema de captura de voz es aquel encargado de recibir la voz que proporciona el usuario al sistema y generar una salida que sea luego pre-amplificada por el subsistema de procesamiento de señales. Por su parte el subsistema de procesamiento se encarga de amplificar la señal obtenida por el micrófono y entregarla en rangos adecuados para el amplificador de corriente que también hace parte del mismo subsistema. Los subsistemas descritos en este subcapítulo están conformados por la función de captura de voz, la de pre-amplificación de la señal, la amplificación de corriente. Dado el concepto seleccionado en el capítulo anterior y por lo tanto, la integración existente entre ambos subsistemas en la tarjeta de desarrollo del micrófono MEMS, se decidió realizar el análisis de ambos subsistemas de forma conjunta y con un enfoque integrador.

5.1.1. Requerimientos.

Antes del desarrollo a detalle de los subsistemas de captura de voz y procesamiento de señales se deben establecer los requerimientos que éstos necesitan cumplir para que la integración con los demás subsistemas sea exitosa. En este punto, el nivel de los requerimientos es bastante técnico y se deriva de las especificaciones y del concepto ya generado. La tabla que se muestra a continuación indica los requerimientos del subsistema y su respectiva procedencia.

Tabla 5.1 Requerimientos del subsistema de captura de voz y del subsistema de procesamiento de señales.

REQUERIMIENTOS DE LOS SUBSISTEMAS DE CAPTURA DE VOZ Y DE PROCESAMIENTOS DE SEÑALES.	ESPECIFICACIÓN ASOCIADA	REQUERIMIENTOS ASOCIADOS.
Los subsistemas descritos pesarán menos de 40 [g], en total.	E01	R011
El tiempo de colocación y sujeción del micrófono será menor a 10 segundos.	E02	R061
El micrófono se alimentará con un voltaje inferior a 3.7 [V]	E05	R011, R012
Los amplificadores usados poseerán alimentación simple.	E05	R011, R012
Los amplificadores trabajarán en un rango ubicado entre 2.6 y 3.7 [V]	E07	R093

Gracias a la tabla 5.1 es posible definir que la alimentación del micrófono debe ser inferior a 3.7 [V] que es valor de la batería. Así mismo se define que el tipo de amplificadores a usar (operacional y de corriente) deben poseer alimentación unipolar con lo cual se garantiza que se utilice una única batería; además de que su rango de operación debe estar entre 2.6 y 3.7[V] que es el intervalo de uso que se le dará a la batería antes de que el usuario reciba la señal de falta de energía. En la tabla también se observa que para cumplir con las especificaciones los subsistemas deben tener un peso total menor a 40 [g], que estarían distribuidos 25 [g] para la zona del micrófono por ser el promedio entre el peso de un micrófono de diadema y uno de solapa a nivel comercial [22] y los 15 [g] restantes para el amplificador de corriente y su respectiva carcasa. Por otra parte se establece que en relación al peso de la tarjeta de desarrollo y su nivel de simplicidad será necesario tener un sistema de sujeción que el usuario pueda poner o retirar en 10 segundos que es en la actualidad el tiempo que ocupa el cliente en colocarse el micrófono..

5.1.2. Arquitectura.

Los subsistemas tratados en el apartado anterior están conformados por un micrófono MEMS y su respectivo sistema de sujeción. El micrófono utilizado es un ADMP401 de la empresa *Analog Devices*, omnidireccional, de bajo consumo energético, alta calidad y desempeño en el procesamiento de la señal y que está constituido por un transductor, un convertidor de impedancia y un amplificador de salida tal como se observa en la siguiente figura.

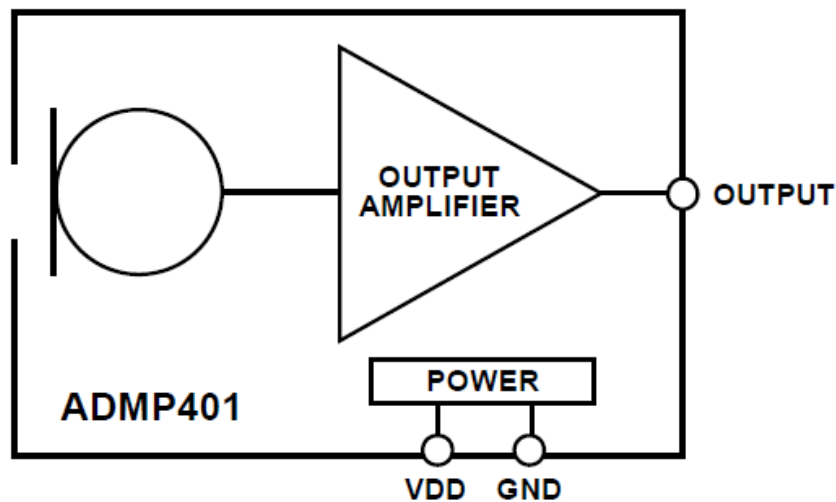


Figura 5.1 Diagrama funcional del micrófono ADMP401 [25].

Para este trabajo se hará uso del micrófono ADMP401 ya implementado en una tarjeta de desarrollo que incluye un amplificador operacional OPA344 de la marca *Texas Instrument*. El OPA344 es un amplificador especial para audio por lo cual su uso se presenta mayoritariamente en comunicaciones, procesamiento de audio, adquisición de datos, entre otras áreas que demanden una alta calidad de señal a la salida. El amplificador utilizado tiene salida *rail to rail*, lo que implica que el voltaje de salida puede ser muy cercano al voltaje de entrada, para este caso 1 [mV] es la diferencia permisible entre ambos; esta característica permite un mejor aprovechamiento del componente y de sus funciones. La siguiente figura ilustra el circuito esquemático con la conexión del micrófono MEMS y el amplificador de Texas Instrument.

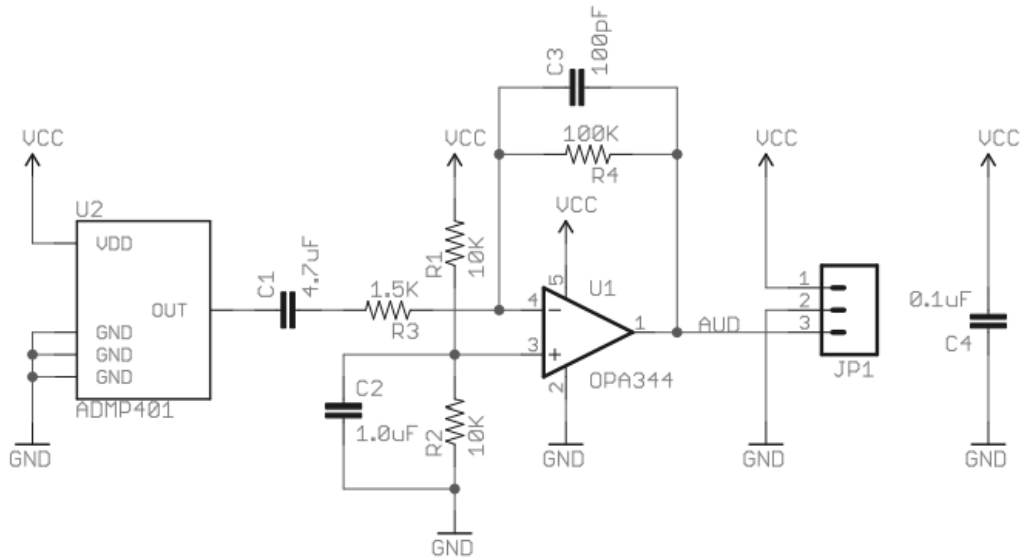


Figura 5.2 Circuito esquemático tarjeta de desarrollo del micrófono MEMS [25].

De la figura 5.2 se observa que tanto el micrófono como el amplificador trabajan con el mismo potencial lo que permite suministrar energía a ambos con la misma fuente. El resto de elementos de la tarjeta son de tipo comercial por lo que en caso de falla y ante una eventual ausencia de la tarjeta de desarrollo sería posible su sustitución.

Aunque la tarjeta de desarrollo del micrófono constituye gran parte de los subsistemas de captura de voz y procesamiento de señal se necesita adecuar este componente al sistema total mediante un dispositivo de sujeción. Para esto, se plantea que la forma de sujeción al usuario sea tipo orejera por considerarse más ligera y cómoda que una diadema.



Figura 5.3 Apariencia del subsistema de audio y de procesamiento.

En la figura anterior se observa la configuración que tendrían los subsistemas en donde se destaca el uso de una esponja para cubrir la zona del micrófono de las partículas y demás factores ambientales que puedan interferir en el óptimo desarrollo de sus funciones. Adicionalmente se observa que el micrófono se sujeta a la orejera a través de un alambre plástico semi-rígido de modo que se permita el movimiento parcial del mismo para adaptarlo a la posición de la boca. Esta pieza del subsistema surge al colocar los 3 cables calibre 24 que conectan las señales del micrófono y un alambre de acero inoxidable dentro de un *thermofit* de 4.8 [mm], que al ser calentado se contrae dándole soporte y protección a los cables y generando la forma de arco que se ve en la figura. Por otro lado el método de sujeción de las piezas anteriores con la orejera será la presión que exista entre el alambre y el agujero de ésta. Finalmente al salir de la orejera los cables que provienen del micrófono se sueldan a un cable plano tipo audio con salida de 3.5 [mm] que a su vez será conectado a la pieza del sistema que se ubicará en la espalda del usuario.

5.1.2.1. Amplificación de corriente.

Una parte del subsistema de procesamiento de señales que prosigue a la pre-amplificación de la señal proveniente del micrófono es la amplificación de corriente necesaria para que funcione la bocina que reproducirá el sonido. Para esta función se cuenta con el módulo de evaluación TPA301 de la empresa *Texas Instrument*. El módulo es un amplificador de audio de un solo canal, de bajo consumo energético, constituido por el circuito integrado TPA301 (amplificador de audio de 350 [mW]) y una serie de componentes comerciales de montaje superficial localizados en una tarjeta de 3.2 [mm] de largo y ancho, respectivamente.

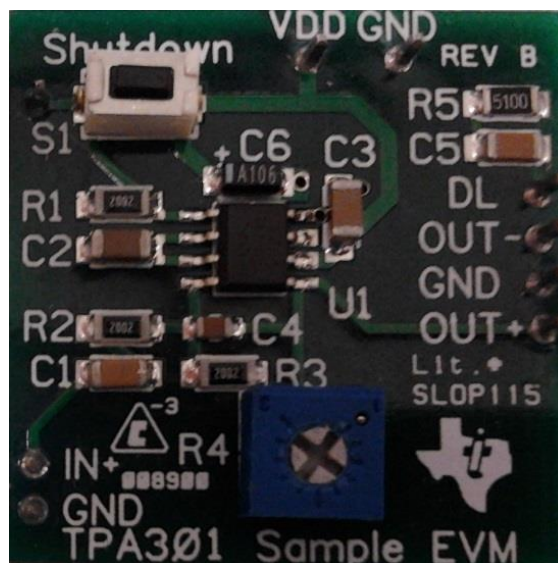


Figura 5.4 Módulo de Evaluación de Texas Instrument.

En la figura 5.4 se observa la distribución que tiene el módulo de evaluación TPA301. Dentro de la mencionada tarjeta se destaca el pin de *shutdown* como aquel con el cual es posible colocar el amplificador en modo de silencio y bajo gasto energético al conectar un interruptor normalmente abierto entre este pin y el de voltaje de alimentación. Por otro lado, la tarjeta tiene una ganancia variable, de entre 2 y 22 la señal de entrada, que es posible controlar a través de la resistencia R4. En cuanto al pin de alimentación, es posible suministrarle de 2.5 a 5.5 [V] que es el rango de trabajo de la tarjeta. Para la salida, el módulo de evaluación soporta una bocina de 8 a 32 [Ω] conectada directamente a las terminales *OUT +* y *OUT -* de la tarjeta. La siguiente figura muestra el circuito implementado en el módulo.

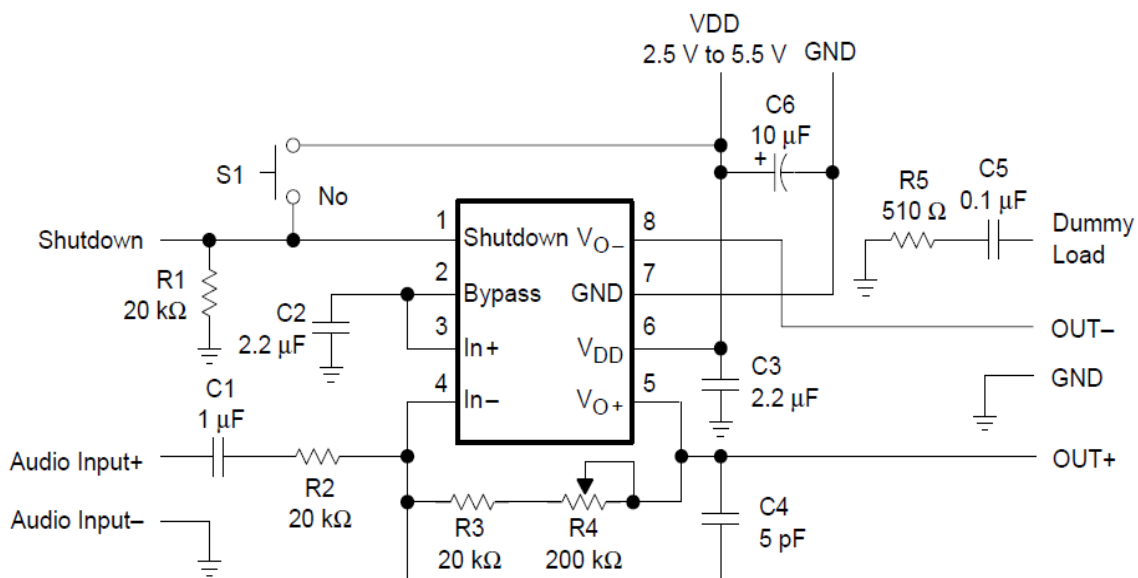


Figura 5.5 Esquemático del módulo TPA301 [23]

Tal como se ilustró en el diagrama del concepto seleccionado el módulo de evaluación se incorporaría en la parte de atrás del collar junto con la demás circuitería. Para esto es necesario poner los componentes en una pieza de forma rectangular que cuente con los conectores adecuados a manera de *case*. El modelado de la pieza será explicado más a detalle en apartados posteriores ya que es una pieza que sirve como integración entre diversos subsistemas y no pertenece únicamente a los mencionados en este subcapítulo.

5.2. SUBSISTEMA DE REPRODUCCIÓN DE SONIDO.

El subsistema de reproducción de sonido es el encargado de tomar la señal enviada por el amplificador de potencia y generar una salida audible que sea percibida por el usuario y público en general. Este subsistema se conforma por la bocina y la carcasa que debe cubrirla para darle mejor desempeño acústico y protegerla de factores ambientales.

5.2.1. Requerimientos.

Para el caso del subsistema de reproducción de sonido los requerimientos del mismo están fundamentalmente relacionados con el peso, dimensiones y la potencia que debe suministrar el producto. Estos requerimientos fueron descritos con anterioridad durante el planteamiento del sistema y generaron especificaciones bajo las cuales de trabajar el subsistema. La tabla 5.2 muestra los requerimientos del subsistema, así como su procedencia.

Tabla 5.2 Requerimientos del subsistema de reproducción de voz.

REQUERIMIENTOS DEL SUBSISTEMA.	ESPECIFICACIONES ASOCIADAS.	REQUERIMIENTOS ASOCIADOS.
El amplificador de voz pesará menos de 200 [g].	E01	R011
El amplificador de voz tendrá una potencia igual o superior a 2[W]	E04	R101
La bocina del amplificador pesará menos de 50 [g].	E09	R011, R023
La profundidad de la bocina estará por debajo de 30 [mm].	E10	R023

5.2.2. Arquitectura.

Para el concepto seleccionado se tiene que el subsistema de reproducción de sonido estaría localizado en la parte central del collar a modo de dije. De este modo, la forma central del collar es una semiesfera que alberga en su interior a la bocina seleccionada. La bocina es una pieza circular marca HIBOX (Ver anexo IV) con, 8 [Ω] de impedancia y 10 [W] de potencia. La bocina seleccionada tiene un peso de 41.26 [g] que es bastante bajo para su potencia y se debe al uso de un imán de Neodimio.

Adicionalmente para proteger la bocina de los factores ambientales y obtener mejor calidad en su salida acústica se plantea una carcasa de forma esférica que cubra la pieza y la mantenga sujeta para evitar las vibraciones. La carcasa contendrá los orificios necesarios para sujetar las cadenas con la bocina, así como los cables eléctricos. Las dimensiones y el modelado de la carcasa serán explicados en apartados posteriores, así como los materiales a utilizar. La siguiente figura muestra un boceto de la carcasa integrada al collar y el case que alberga los demás componentes.



Figura 5.6 Arquitectura del subsistema de reproducción de voz.

5.3. SUBSISTEMA ENERGÉTICO.

El subsistema energético es el encargado de proporcionar la energía necesaria para que el producto y todos sus elementos electrónicos funcionen correctamente y dentro de los rangos demandados de operación. Como parte del subsistema energético se encuentran las funciones de almacenamiento de energía, recarga de batería y distribución de energía interna.

5.3.1. Requerimientos.

Al ser el subsistema energético el encargado de proporcionar el voltaje necesario para todos los circuitos, sus requerimientos están ligados a las demandas que tienen otros subsistemas sobre el ya que éste funciona como vínculo entre los diversos elementos electrónicos. La tabla 5.3 muestra los requerimientos existentes para este subsistema y las especificaciones y requerimientos del sistema asociados al mismo.

Tabla 5.3 Requerimientos del subsistema energético.

REQUERIMIENTOS DEL SUBSISTEMA.	ESPECIFICACIONES ASOCIADAS.	REQUERIMIENTOS ASOCIADOS.
El subsistema suministrará máximo 3.3[V] a la tarjeta de desarrollo del micrófono MEMS.	E05	R011, R012
El subsistema suministrará máximo 5[V] a la etapa de amplificación de corriente.	E05	R011, R012
El peso de la batería será menor a 150 [g].	E06	R011
La batería debe proporcionar mínimo 900 [mAh].	E07	R093

En la tabla anterior se observa que para la distribución de energía será necesario proporcionar dos niveles distintos de voltaje ya que la tarjeta del micrófono MEMS y la etapa de amplificación de corriente funcionan con diferentes rangos como se especificó en el subcapítulo 5.1. Por otra parte, el peso de la batería inferior a 150 [g] proviene de forma directa de las especificaciones y ha sido previamente cumplido durante la selección del concepto que se realizó en el capítulo anterior. Finalmente, a través de mediciones de corriente realizadas al circuito en funcionamiento se estableció que la corriente demandada es de 150 [mA] por lo cual para que la batería dure máximo 6 horas será necesario que proporcione al menos 900 [mAh].

5.3.2. Arquitectura.

Para la realización de las distintas funciones que hacen parte del subsistema energético se requieren varios tipos de elementos y de circuitos. En primer lugar, se tiene que para el sistema FIVOZ se hará uso de una batería de celular Nokia de iones de Litio. Esta batería maneja 3.7 [V] de voltaje nominal aunque después de un proceso de recarga es posible que suministre hasta 4.1 [V]. La batería con modelo BL-5CT con dimensiones de 54.1 x 33.9 x 5.8 [mm] y un peso de 9.2 [g]; cuenta con 1050 [mAh] lo que estaría 250 [mAh] por encima del requerimiento planteado en la tabla 5.3. La batería al igual que el resto de elementos de subsistema energético estarán localizados en la zona de la espalda y su ubicación y distribución será realizada durante la fase de integración.

El proceso de recarga de la batería se llevará a cabo a través de una tarjeta con la electrónica necesaria ya integrada para su funcionamiento. La tarjeta de recarga utiliza el circuito integrado TP4056 el cual es un controlador de carga lineal con corriente y voltaje constante. La figura 5.7 muestra el diagrama del circuito integrado.

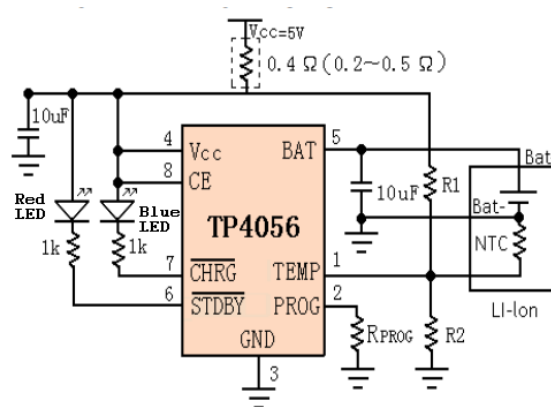


Figura 5.7 Esquemático de la tarjeta de recarga [24].

El voltaje de carga del TP4056 es de 4.2 [V], mientras la corriente puede ser modificada a través de una resistencia, R_{PROG} . También se ilustra la existencia de dos LEDs: uno rojo para indicar carga completa y otro de color azul para indicar cuando la batería está cargándose. A continuación la tabla 5.4 muestra los diferentes valores que puede tomar R_{PROG} así como la corriente alcanzada con cada uno.

Tabla 5.4 Resistencia variable contra corriente de carga [24].

R_{PROG} ($k\Omega$)	I_{BAT} (mA)
10	130
5	250
4	300
3	400
2	580
1.66	690
1.5	780
1.33	900
1.2	1000

La tarjeta de implementación del TP4056 utiliza 1.2 [$k\Omega$] como valor de R_{PROG} con lo cual la corriente máxima de carga es de 1000 [mA] aunque si el circuito es alimentado (a través del conector mini-USB) por el puerto USB de una computadora el valor de corriente suministrado por éste y por tanto usado en la recarga es de 500 [mA]. A continuación se presenta la imagen de la tarjeta de recarga utilizada para el sistema de amplificación de audio así como la ubicación de sus componentes.

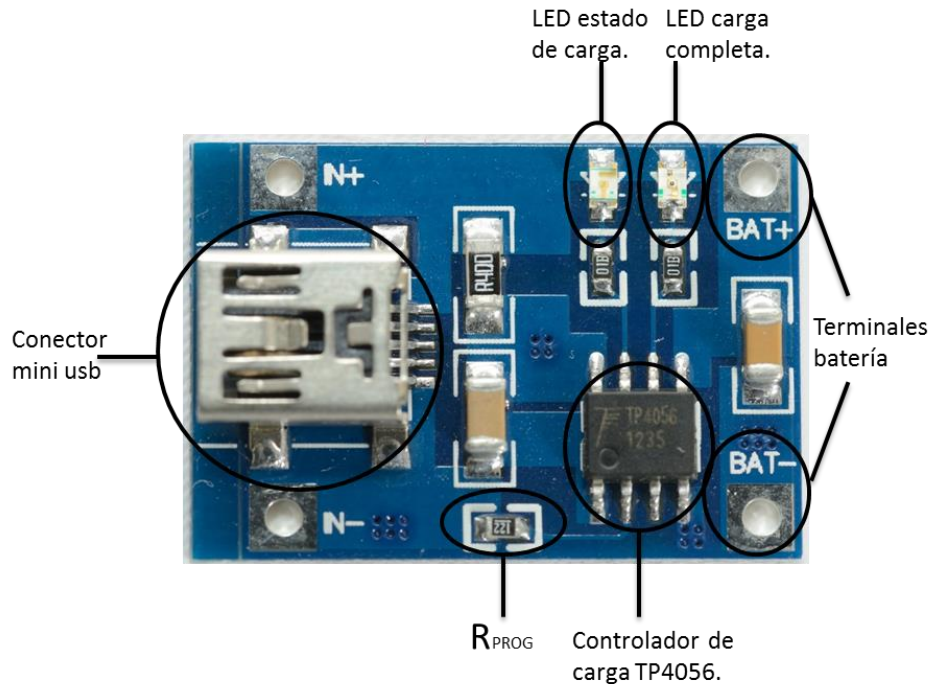
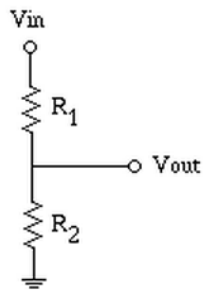


Figura 5.8 Tarjeta de recarga y sus componentes.

Finalmente, como parte del subsistema energético también se encuentra la distribución de energía interna a todos los elementos del sistema. Para realizar esta función es necesario tomar en cuenta, como se planteó en los requerimientos del subsistema, que son varios los valores de voltaje a los cuales trabajan los elementos. En primer lugar se tiene que la batería, en carga completa, suministra 4 [V] los cuales pueden ser usados directamente para alimentar el amplificador de corriente pues éste trabaja en un rango de 2.5 a 5[V]. Por otra parte es necesario implementar un divisor de voltaje para suministrar al micrófono MEMS 3.3 [V] y que este valor vaya variando de la misma forma que lo hace el voltaje general cuando se va descargando la batería. A continuación se presenta el cálculo de las resistencias para el divisor de voltaje.



$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{in}$$

Para $V_{out} = 3.3V$; $V_{in} = 4V$

$$3.3R_1 + 3.3R_2 = 4R_2$$

$$3.3R_1 = 0.7R_2$$

Entonces $R_1 = 1\ k\Omega$; $R_2 = 4.72\ k\Omega$

5.4. SUBSISTEMA DE CONTROL DE FALLAS.

Dentro de todo sistema resulta conveniente la existencia de un subsistema encargado de indicar las posibles fallas que se presentan en el producto; por lo tanto una de las funciones que resulta importante incluir en el sistema FIVOX es el aviso de batería baja que solicita al usuario la recarga energética del dispositivo. Según lo definido en los subsistemas anteriores y en el establecimiento de las especificaciones se muestra en la tabla 5.5 el requerimiento del subsistema y su origen.

Tabla 5.5 Requerimientos del subsistema de control de fallas.

REQUERIMIENTOS DEL SUBSISTEMA.	ESPECIFICACIONES ASOCIADAS.	REQUERIMIENTOS ASOCIADOS.
El subsistema de control de fallas encenderá un motor vibrador cuando el voltaje de alimentación del producto se encuentre en 2.8 [V]	E08	R051

Como se observa en la tabla anterior es necesario encender el motor vibrador de celular elegido en la selección de conceptos como elemento de aviso al usuario. Para realizar tal encendido, una opción que ocupa poco espacio y elementos para su implementación es el uso de un transistor NPN como interruptor. La figura 5.9 muestra el esquema de conexión que se tiene para el aviso de batería baja.

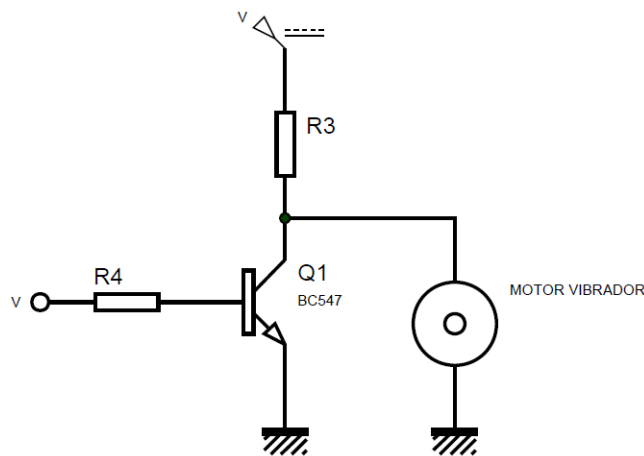


Figura 5.9 Esquemático del interruptor para activación del motor vibrador.

El voltaje que entra a la base del transistor es el mismo que alimenta el motor ya que ambos provienen del voltaje suministrado al amplificador de corriente. Para el caso de las resistencias R_1 y R_2 es necesario realizar su cálculo con base en las ecuaciones de los transistores. A continuación se presenta el análisis realizado para obtener el valor de las resistencias con base en los parámetros de fábrica del transistor BC547.

a) Corte:

$$I_C = I_E = I_B = 0; \quad V_{CE} = 0$$

$$V_{CC} - V_{R3} - V_{MOTOR} = 0$$

$$V_{CC} - R_3 I_3 - V_{MOTOR} = 0$$

$$I_3 = I_{MOTOR}$$

$$V_{CC} = 2.6 [V] \quad ; \quad I_3 = 2 [mA]$$

$$2.6 [V] - R_3(2 \times 10^{-3}) - 2.1[V] = 0$$

$$0.5 [V] = R_3(2 \times 10^{-3})$$

$$R_3 = 250 [\Omega]$$

$$P_3 = 0.5[V]I_3 = 1 [mW]$$

b) Saturación:

$$R_4 I_4 = 2.8 [V]$$

$$I_4 = 100 [mA]$$

$$R_4 = \frac{2.8 [V]}{100 [mA]}$$

$$R_4 = 280 [\Omega]$$

$$P_3 = 2.8[V]I_4 = 0.28 [W]$$

De esta forma, a través del circuito de la figura 5.9 el sistema avisará al usuario cuando la batería se encuentre en 2.8 [V] solicitando así su recarga, lo cual es posible ya que la batería de Li-ion no tiene efecto de memoria y se puede recargar en este punto sin disminuir su capacidad ni afectar su rendimiento. Así mismo el rango de trabajo del motor vibrador permite que funcione correctamente al voltaje establecido como límite.

5.5. INTERFACES E INTEGRACIÓN.

Como se mencionó en los primeros capítulos, una de las características importantes de un sistema es la unión de sus partes no como la suma de ellas sino como una serie de subsistemas que interactúan entre sí y deben integrarse de forma apropiada para generar los resultados esperados tanto particular como totalmente. De ese modo, una interfaz es la interacción existente entre dos subsistemas, de un subsistema con el exterior (*stakeholders* u elementos externos) o del sistema mismo con todo aquello que está afuera de sus fronteras.

Para el caso del sistema FIVOZ las interacciones que se pueden dar en el dispositivo se hacen por medio de piezas para el resguardo de componentes, cables y conectores que hacen que tanto los elementos como las señales eléctricas interactúen. En los apartados posteriores de este subcapítulo se explicarán los elementos que componen las interfaces del sistema portátil de amplificación de voz así como un esquema general del sistema total.

5.5.1. Piezas para el almacenamiento de componentes.

En la presentación del concepto elegido para el sistema FIVOZ (figura 4.11) se mostró cómo la batería, la tarjeta de amplificación de corriente, el circuito de recarga de la batería, el circuito de distribución de energía, el motor vibrador y su respectivo circuito de activación deben localizarse en una pieza rectangular que va ubicada en la espalda del usuario, justo detrás del cuello. Así mismo, como se describió en el subsistema de reproducción de sonido es necesario fabricar una pieza que albergue la bocina del sistema. Para la realización de las piezas se considera emplear de materiales plásticos por su gran uso en las etapas de prototipado.

El trabajo con plásticos requiere de la fabricación de un molde a partir del cual se puedan experimentar distintos materiales y acabados para obtener una pieza con las mejores características estéticas y mecánicas. Para realizar el molde se debe contar primero con un modelo que tenga la forma y las características que se quieren de la pieza.



Vista superior

Vista Lateral

Figura 5.10 Vistas del modelo de la carcasa de la bocina HIBOX.

La figura 5.10 muestra el modelo de la carcasa de la bocina usada en el sistema FIVOZ. La fabricación del modelo se realiza en pasta para modelar, la cual permite detallarlo usando agua, para posteriormente perfeccionar la superficie con una lija. Una vez obtenido el modelo, para generar un molde de silicón, se necesitan los materiales que se muestran a continuación, con base en los talleres de moldeo impartidos por Poliformas Plásticas S.A de C.V:

- Bastidor de 10 x 15 [cm].
- Vaselina sólida.
- ½ [kg] de silicón P53.
- 1 gotero de catalizador TP.
- ½ [kg] de fibra de vidrio.
- 1 [kg] de resina PP70 x 60.
- 1 gotero catalizador K2000.
- 1 [l] de *thinner*.
- ½ [kg] de estopa.
- 2 mezcladores de bamboo.
- 1 brocha de ½ [in].

Una vez obtenidos los materiales requeridos para la fabricación del molde se procede a su realización a través de la siguiente serie de pasos:

1. Se homogeniza el silicón con uno de los mezcladores de bamboo.
2. Se miden 3 [g] de silicón y se agrega una gota de catalizador TP por cada gramo pesado.
3. Se mezclan homogéneamente silicón y catalizador.

4. Se coloca la mezcla obtenida en los bordes del modelo, pegando la pieza al bastidor de madera.
5. Se limpian mezclador y tazas de medición con la estopa.
6. Se unta vaselina sobre la superficie del modelo hasta que esté todo completamente cubierto.
7. Se calcula el área que abarcará el molde a realizar (carcasa):

$$A_{semiesfera} = 2\pi r^2$$

$$A_{semiesfera} = 2\pi (2.85 [cm])^2$$

$$A_{semiesfera} = 51.05 [cm^2]$$

$$A_{cilindro} = 2\pi rh$$

$$A_{cilindro} = 2\pi(2.85 [cm])(4 [cm])$$

$$A_{cilindro} = 71.63 [cm^2]$$

$$A_{Total} = 122.68 [cm^2]$$

8. Utilizando el valor del área a cubrir y el espesor que se busca de la pared de silicón se calcula la cantidad de material a utilizar.

$$V_{Total} = (122.68 [cm^2])(0.2 [cm])$$

$$V_{Total} = 24.5 [cm^3]$$

$$Peso_{silicón} = V_{Total} \times \rho_{silicón}$$

$$Peso_{silicón} = (24.5 [cm^3])(1.1 [g]/[cm^3])$$

$$Peso_{silicón} = 27 [g]$$

9. Se pesa la cantidad de silicón requerida en una balanza electrónica.
10. Se agregan gotas de catalizador TP (1 gota/ 1[g] de silicón) y se mezcla homogéneamente.
11. Se esparce silicón sobre la pieza y alrededores, de manera uniforme y se espera a que seque.
12. Se repiten los pasos 9 al 11 para una segunda capa de silicón.
13. Se unta la segunda capa de silicón y se espera hasta que esté a un 50% de su secado.

14. Se calcula cantidad de fibra de vidrio, se corta y se pesa.

$$A_{Total} = 122.68 [cm^2] = 0.012268 [m^2]$$

$$450 [g] \text{ Fibra de Vidrio} \rightarrow 1 [m^2]$$

$$X \rightarrow 0.012268 [m^2]$$

$$X = \frac{450 [g] (0.012268 [m^2])}{1 [m^2]}$$

$$X = 5 [g]$$

$$X_{Total} = 5 [g] \times 3 \text{ capas} = 15 [g]$$

15. Se calcula la cantidad de resina a usar y se pesa en una de las tazas medidoras.

$$30\% \text{ Fibra de Vidrio} \rightarrow 70\% \text{ Resina}$$

$$15 [g] \text{ Fibra de Vidrio} \rightarrow Y$$

$$Y = \frac{70\% \text{ Fibra de Vidrio} (15 [g])}{30\% \text{ Fibra de Vidrio}}$$

$$Y_{Total} = 35 [g] \sim 40 [g] \text{ (considerando pérdidas)}$$

16. Siguiendo la fórmula se calcula la cantidad de gotas de catalizador K2000 que deben aplicarse a la resina.

$$100 [g] \text{ Resina} \rightarrow 40 \text{ gotas catalizador}$$

$$40 [g] \text{ Resina} \rightarrow Z$$

$$Z = 16 \text{ gotas}$$

17. Se mezclan las gotas de catalizador K2000 con la resina hasta que esta toma un color amarillento.
18. Se desmenuza la fibra de vidrio y se aplica junto con la resina la cual se esparce con la punta del pincel de forma suave y consistente.
19. Se espera 10 minutos para posteriormente cortar las orillas y dejar secar.
20. Después de 10 ó 15 minutos de haber realizado el paso anterior se prosigue a despegar el molde del bastidor y a retirar con ayuda de un cortador el modelo.
21. Se deja secar un día el molde para ser usado posterior en el desarrollo de piezas.

La figura 5.11 muestra el molde para la fabricación de la carcasa de la bocina del sistema FIVÓZ.



Figura 5.11 Molde de la carcasa para la bocina del sistema FIVÓZ.

Al obtener el molde se procede a la realización de carcasas, de distintos materiales, que puedan ser comparadas posteriormente a través de algunos parámetros mecánicos. La primera carcasa estará hecha de resina reforzada con fibra de vidrio y recubrimiento de *gelcoat* (material que proporciona los buenos acabados). A continuación se enlista el proceso de fabricación de dicha pieza.

1. Se calcula cantidad de *gelcoat* y se pesa la cantidad de gramos requerida.

$$A_{Total} = 122.68 [cm^2] = 0.012268 [m^2]$$

$$1000 [g] \text{Fibra de Vidrio} \rightarrow 2 [m^2]$$

$$X \rightarrow 0.012268 m^2$$

$$X = \frac{1000 [g] (0.012268 [m^2])}{2 [m^2]}$$

$$X = 6 [g] \sim 8[g] \text{ (considerando pérdidas).}$$

2. Se añaden gotas de catalizador K2000 y se revuelve homogéneamente.

$$100 [g] \text{ Gelcoat} \rightarrow 40 \text{ gotas catalizador}$$

$$8 [g] \text{ Gelcoat} \rightarrow Z$$

$$Z = 3.2 \sim 4 \text{ gotas}$$

3. Se pinta el molde con la mezcla obtenida en el paso dos y se deja secar casi totalmente.
4. Se aplica una segunda capa de *gelcoat* con las mismas características de la primera (peso y gotas).
5. Se deja secar la segunda capa hasta un 75%.
6. Se aplica la misma cantidad de fibras de vidrio y resina usadas para el molde, teniendo como base los cálculos y el procedimiento ya realizado.
7. Se deja secar la pieza y a los 30 minutos se retira usando los excesos de fibra.



Figura 5.12 Carcasa en fibra de vidrio y resina con recubrimiento de *gelcoat*.

La figura anterior muestra la primera carcasa para la bocina, una vez que ha transcurrido el tiempo total de secado de la pieza (un día desde su fabricación). Para la realización de la segunda carcasa de prueba se utiliza un material compuesto por resina y micro esfera de vidrio. A continuación se enlistan los pasos:

1. Se homogeniza la resina con un mezclador de bamboo.
2. Se pesan 10 [g] de resina.
3. Se pesan 3 [g] de micro esfera.
4. Se mezclan los materiales anteriores homogéneamente.
5. Se colocan 4 gotas de catalizador K2000.
6. Se revuelve hasta que esté completamente integrado a la mezcla.
7. Haciendo uso de la brocha se pinta el molde.
8. Se deja secar el material para luego retirar la pieza.

A continuación se deja secar completamente la pieza durante un día para luego hacer uso de ella. La siguiente figura muestra la carcasa realizada en micro esfera de vidrio y resina.



Figura 5.13 Carcasa de micro esfera de vidrio y resina.

5.5.2. Cables y conectores.

La calidad y longitud de los cables y conectores del sistema FIVOZ influyen directamente en la confiabilidad del dispositivo y facilita la interacción del usuario con el producto.

Para la conexión de las terminales de la bocina se utiliza un cable calibre 18 trenzado a una cadena con el fin de evitar la tensión en el cable y mantener un aspecto de joyería, así como contribuir con las conexiones de los elementos. La figura 5.14 muestra la apariencia del cable trenzado.



Figura 5.14 Cable trenzado para la conexión de la bocina.

El micrófono se conecta a la caja de circuitos a través de un cable plano y un conector jack macho de 3.5 [mm]. En la parte de la caja se ubica un conector tipo hembra para carcasa el cual es adherido a las paredes del *case*. La figura 5.15 muestra el tipo de conectores usados para la conexión del micrófono MEMS.



Figura 5.15 Conectores jack hembra y macho de 3.5 [mm].

5.5.3. Sistema total.

Una vez desarrollados los subsistemas que conforman al sistema portátil de amplificación de voz se procede a la implementación física de los circuitos y las conexiones que relacionan los diferentes elementos. La siguiente figura muestra la imagen del modelo funcional generado para el sistema FIVÓZ.

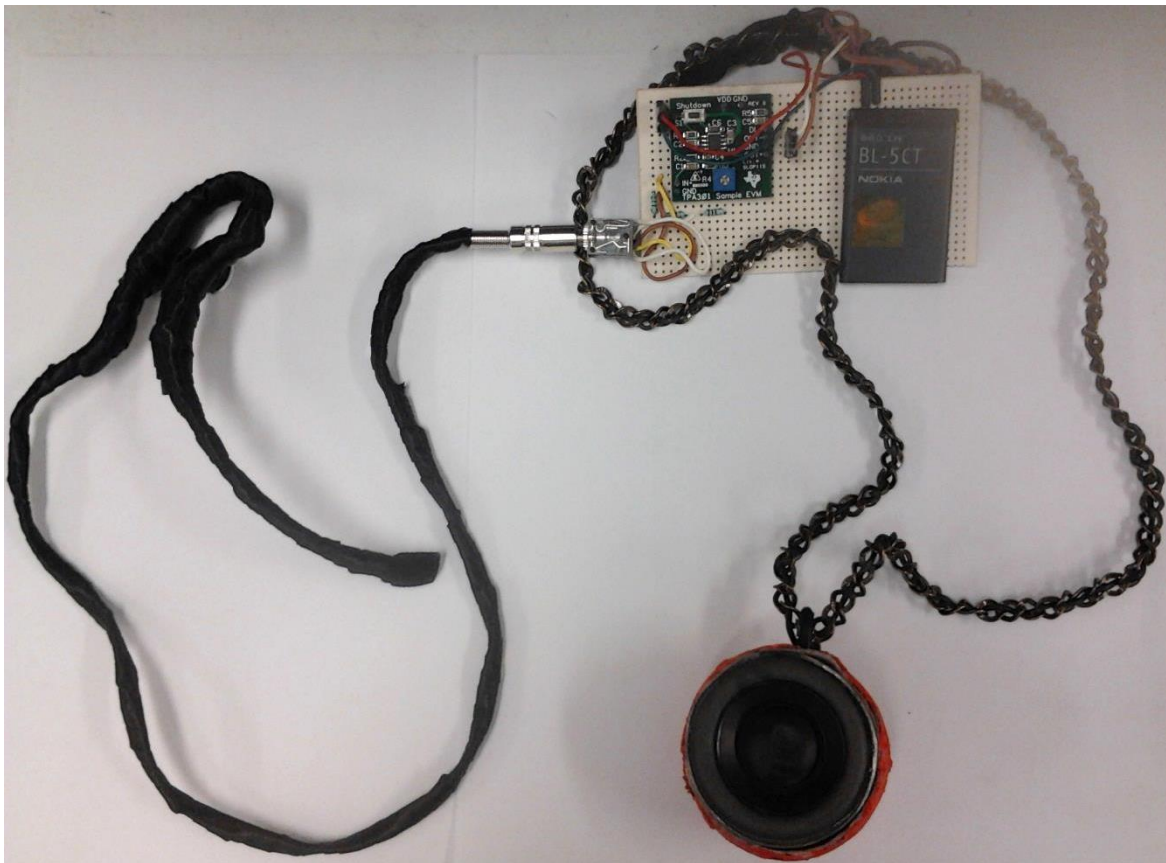


Figura 5.16 Modelo funcional del sistema FIVÓZ.

En la figura 5.16 se observa la integración de los subsistemas que conforman al producto. Así mismo, la imagen permite apreciar la apariencia del dispositivo y la distribución espacial de los elementos que lo conforman. El modelo funcional del sistema tiene un peso de 170 [g] y se estima que el tiempo de colocación es de 40 segundos desde que el usuario lo toma hasta que se completan las condiciones para su uso. A continuación, se muestra la figura 5.17 con el circuito total del sistema FIVÓZ.

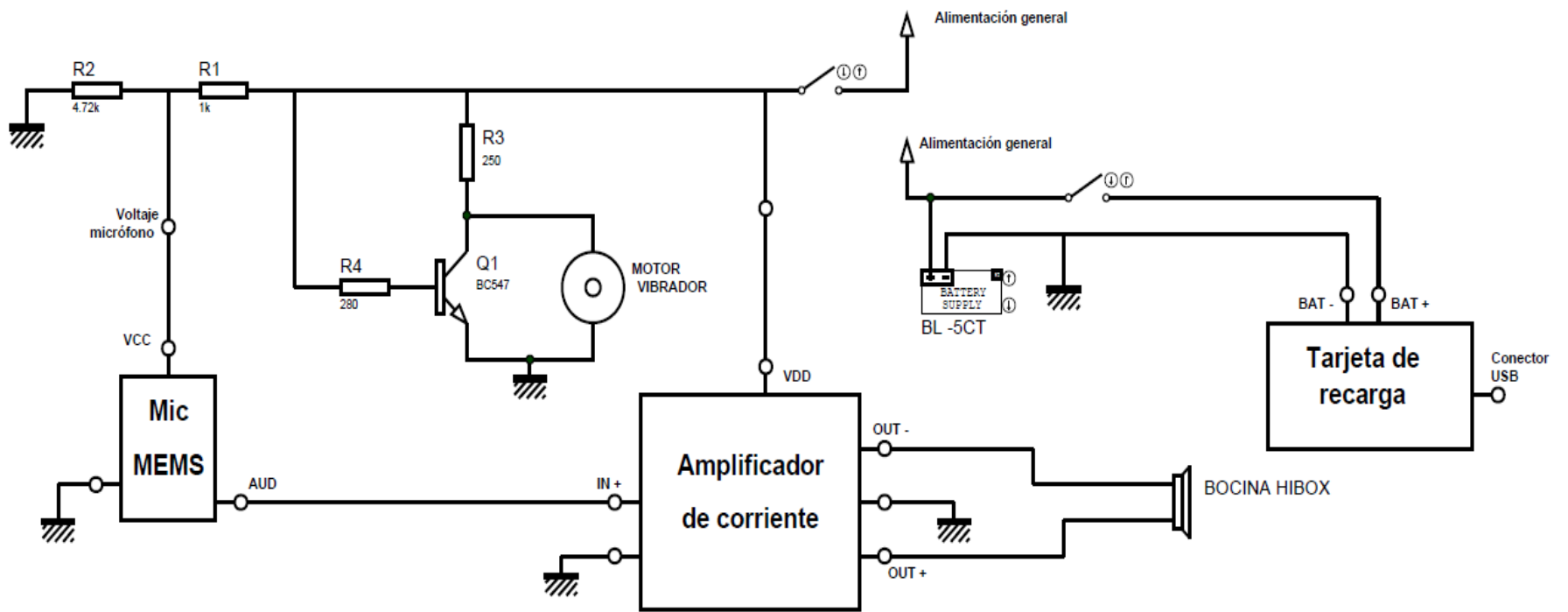


Figura 5.17 Circuito total del sistema FIVOX.

6. VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN.

Como se mencionó en los primeros capítulos de este trabajo la aplicación de la ingeniería de sistemas en el desarrollo de un producto demanda la implementación de etapas de verificación y validación a lo largo del proceso de diseño. Dichas fases se caracterizan por la realización de pruebas que otorgan información sobre el modo en que un elemento y/o subsistema se comporta en diferentes condiciones, aportando así información sobre el concepto desarrollado y su nivel de relación con las necesidades que dan origen al proyecto. A pesar de que tanto en la etapa de verificación como en la de validación se incluyen la realización de pruebas, el enfoque y el tipo de información que se busca recopilar son distintos, por lo cual es necesario aclarar el alcance de cada una. Los subcapítulos posteriores presentan las etapas de verificación y validación del sistema FIVOX.

6.1. VERIFICACIÓN.

El proceso de verificación es aquel en el cual se realizan pruebas a los diferentes componentes y subsistemas del producto con el fin de garantizar la correcta construcción del sistema. En esta etapa se busca el análisis de las partes de modo que se obtengan las mejores características de las mismas en la integración y se puedan minimizar tanto sus defectos como los rediseños sobre el dispositivo. El proceso de verificación de un diseño puede llevarse a cabo a través de análisis, simulaciones, pruebas e inspecciones [2], no obstante para el caso del sistema FIVOX se plantea únicamente la realización de pruebas a los componentes.

Como primera parte de la verificación del sistema portátil de amplificación de voz se plantean pruebas a ciertos elementos que conforman los diferentes subsistemas. Dentro de los elementos a analizar se encuentran el micrófono MEMS, la batería de iones de litio seleccionada y las carcasas fabricadas para albergar la bocina. Se plantea el análisis de estos componentes pues se tiene poco conocimiento sobre su desempeño real en sistemas similares al desarrollo en este trabajo.

6.1.1. Prueba a la tarjeta de micrófono MEMS.

A pesar del creciente auge de los micrófonos MEMS en los últimos años, su implementación en sistemas portátiles de amplificación de voz no se encuentra documentada, por lo cual es necesario realizar pruebas que revelen su desempeño en este tipo de situaciones. Un factor importante en el desempeño de este componente es la distancia a la cual puede estar localizado de la boca sin perder la capacidad de captura. Para verificar esta variable se plantea una prueba en la cual en un rango de 5 a 100 [mm] se regule cada 5 [mm] la distancia de la fuente sonora a la tarjeta del micrófono MEMS y se mida a través del osciloscopio, el voltaje pico a pico promedio de una misma señal de audio (grabación). Adicionalmente se plantean pruebas cualitativas con distintos usuarios en donde se identifiquen algunos defectos inherentes a los micrófonos que puedan presentarse en el sistema.

6.1.2. Prueba de carga/descarga de la batería.

Una de las características que brinda portabilidad al sistema FIVOX es el uso de una batería como parte del suministro energético. De esta forma, el tiempo de duración de dicha batería y su comportamiento a lo largo de la descarga proporcionan información sobre la capacidad que tiene esta fuente de mantener el suministro y la demanda de corriente de los circuitos.

Para la prueba de desempeño de la batería se propone conectarle el sistema completo y colocar una grabación de audio a 5 [mm] de distancia del micrófono MEMS. De este modo, se proporciona al sistema una entrada continua de sonido durante toda la ejecución de la prueba. El tiempo destinado para el monitoreo de los valores con los cuales es alimentado el sistema es de 6 horas con intervalos de muestreo de 20 minutos.

Una prueba adicional consiste en conectar la batería una vez que han pasado las 6 horas de uso a la tarjeta de recarga para medir el tiempo que tarda en recargarse, es decir, hasta el momento en que el LED indicador de carga completa se enciende. Para esta prueba no se puede monitorear el voltaje que va adquiriendo la batería con el paso del tiempo pues como se explica en el apartado 5.3.2 la tarjeta de recarga lleva a cabo este proceso con una diferencia de potencial constante lo que impide saber cuál es el voltaje real de la batería para cada determinado tiempo. La corriente suministrada para la prueba también es constante y es de 500 [mA] pues se conecta el sistema de recarga a una computadora portátil para este proceso.

6.1.3. Prueba mecánica de la carcasa.

Como se mencionó en el apartado 5.5.1 se fabrican piezas para la carcasa usando dos tipos de materiales compuestos diferentes: resina reforzada con fibra de vidrio y recubrimiento de *gelcoat* y micro esfera de vidrio con resina. Ambos materiales se caracterizan por ser compuestos (ver anexo V) y dada su unión mejoran las propiedades que tenían cada uno de los elementos que los forman. Para el caso del plástico reforzado con fibra de vidrio se tiene conocimiento de sus ventajas mecánicas pues es ampliamente usado en la industria automotriz y aeronáutica por su resistencia; no obstante, para determinar su uso en el sistema FIVOX es necesario compararlo con la micro esfera de vidrio con resina, material del cual no se poseen tantos datos.

Para la selección del material a usar en las piezas para almacenamiento de componentes del sistema FIVOX se propone desarrollar una carcasa adicional que incluya una capa exterior de micro esfera de vidrio con resina y un refuerzo interior de fibra de vidrio. De esta forma, se tienen 3 piezas que serán comparadas a través de alguna de sus propiedades mecánicas.

Recordando que las piezas que componen al sistema hacen parte de un producto con aspecto de joyería se identificó que algunos de los problemas que pueden generar la destrucción de las piezas son: caídas del dispositivo en alturas promedio de 100 a 150 [cm] o la presencia de una carga que comprima el dispositivo, ya sea porque el usuario se siente en él o que el dispositivo se encuentre en el suelo y sea aplastado por el usuario mismo o por otro elemento. Por las razones anteriormente mencionadas se considera que un ensayo de compresión proporcionará información sobre las piezas a comparar y así mismo del desempeño de los materiales usados.

El ensayo de compresión es un método para determinar el comportamiento de materiales bajo cargas axiales. La probeta se comprime y se registra la deformación con distintas cargas. El esfuerzo y la deformación de compresión se calculan y se trazan como un diagrama carga-deformación [26]. Resulta importante aclarar que para que las pruebas de compresión de plásticos entreguen parámetros normalizados sobre los materiales usados, la realización de la prueba debe regirse por la norma ASTM D-695; no obstante, para la prueba aquí planteada no es necesaria su implementación pues sólo se busca un análisis comparativo de la carga máxima aguantada para cada pieza, lo que permita determinar junto a otros aspectos (acabados y peso) el material final.



Figura 6.1 Máquina INSTRON para la realización del ensayo de compresión.

En la figura 6.1 se observa la máquina INSTRON del laboratorio de pruebas mecánicas del Centro de Diseño y Manufactura de la Facultad de Ingeniería de la UNAM que se usa para la realización de la prueba planteada. Para facilitar la generación y análisis de resultados de la prueba se numeran las muestras de la siguiente forma: la muestra 1 corresponde a la pieza fabricada con micro esfera de vidrio y resina, la muestra 2 es la pieza que contiene micro esfera de vidrio, resina y fibra de vidrio y por último la muestra 3 es la pieza fabricada con fibra de vidrio y resina y que cuenta con recubrimiento de Gelcoat. La siguiente figura presenta las muestras en su respectivo orden de numeración.



Figura 6.2 Muestras de carcasas para el ensayo de compresión.

La máquina INSTRON que se usa para la prueba requiere la introducción del porcentaje de humedad y la temperatura ambiente que se tiene en el instante de la prueba. Adicionalmente, se debe introducir a la máquina la tasa de muestreo (*Sample Rate*) y el avance que se quiere que tenga la carga (*Crosshead Speed*). La siguiente figura muestra los parámetros que se definen para la prueba de compresión.

```

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE MATERIALES Y MANUFACTURA

Ensayo de compresión de carcasas

Test type:      Compressive
Operator name:  Adolfo Altamirano M.
Sample Identif: MICRO
Interface Type: 4200 Series
Machine Parameters of test:
  Sample Rate (pts/sec): 10.00
  Crosshead Speed (mm/min ): 500.000
Instron Corporation
Series IX Automated Materials Testing System 1.04
Test Date: 16 May 2013
Sample Type:   ASTM
Humidity ( % ): 50
Temperature (deg. C): 24

Dimensions:
          Spec. 1 Spec. 2 Spec. 3
Diameter (mm)      53.000 53.000 53.000
Spec gauge len (mm) 30.000 32.000 31.000
Platen Separ. (mm) 31.000 31.000 31.000

Out of 3 specimens, 0 excluded.

```

Figura 6.3 Parámetros para el ensayo de compresión de las carcasas en la máquina INSTRON.

6.1.4. Prueba de reproducción de sonido.

Como parte del proceso de verificación se plantea una prueba de audio a cada una de las 3 carcasas construidas para albergar la bocina del sistema FIVOZ. La prueba que se diseña es de tipo cualitativo y consiste en ubicar la carcasa sobre una superficie lisa para a su vez poner una bocina de vibración sobre de la pieza como se muestra en la figura 6.4. Durante la ejecución de la prueba se conecta la bocina de vibración a una salida de audio y se hace sonar la misma melodía para cada una de las carcasas.

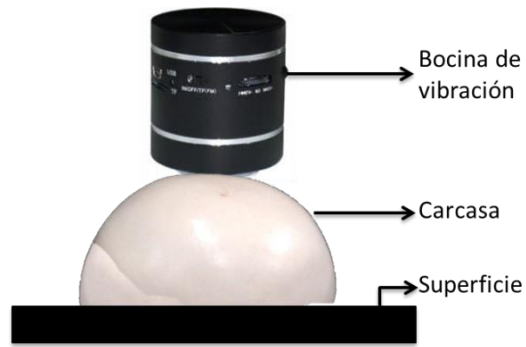


Figura 6.4 Configuración de los elementos para la prueba de audio.

6.2. VALIDACIÓN.

La validación de un sistema es la etapa en la cual se realizan pruebas para determinar que se ha construido el sistema correcto y que este cumple con los requerimientos de los *stakeholders*. Para el caso del sistema FIVOX una vez recopiladas las necesidades del usuario se ha mantenido el contacto con éste así como con las demás partes interesadas lo que facilita la comprensión del sistema y el diseño de un producto que cumpla las expectativas demandadas. De esta forma, parte del proceso de validación del sistema portátil de amplificación de voz se ubica en etapas tempranas del desarrollo de modo que los rediseños sean lo menos costosos e impliquen una menor cantidad de tiempo. En los apartados posteriores se hará una descripción del plan de validación diseñado para el sistema FIVOX.

6.2.1. Prueba de calidad acústica.

Una de las primeras pruebas de validación del sistema FIVOX consiste en comprobar el funcionamiento óptimo de los subsistemas de captura de voz, procesamiento de señales y reproducción de sonido con el usuario del producto. Para esta prueba se cita a la Mtra. Carpio al Centro de Diseño y Manufactura (CDM) de la Facultad de Ingeniería.

El objetivo fundamental de la prueba es validar la potencia acústica con la que es amplificada la voz del usuario. Adicionalmente, se busca validar la calidad en la captura de la voz para el caso específico de la Mtra, con el fin de identificar posibles problemas que puedan ser evitados en el

desarrollo del modelo funcional. La alimentación de los circuitos durante esta prueba es suministrada por una fuente de voltaje ubicada en el lugar de realización de la misma.

Para la prueba se ubica al usuario en un punto fijo de un salón de clase vacío y se pide la participación de 2 oyentes que se estén movilizando al interior de éste, de modo que proporcionen información cualitativa sobre los parámetros mencionados con anterioridad. A continuación se muestra una imagen del usuario junto a los elementos que conforman la prueba.

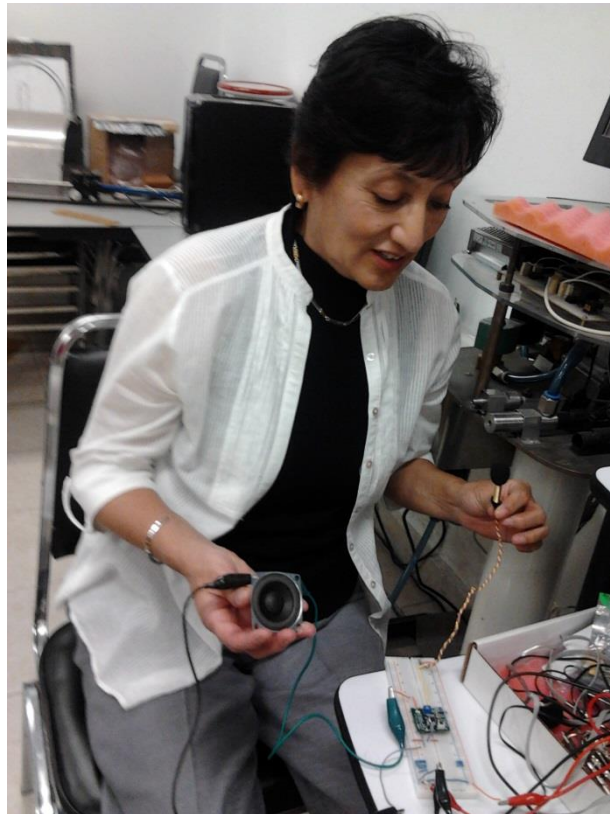


Figura 6.5 Usuario del sistema FIVOX durante la prueba de potencia acústica.

6.2.2. Prueba del modelo funcional.

Una vez desarrollado el modelo funcional del sistema FIVOX es necesario realizar una prueba de éste con el usuario para validar que las necesidades recopiladas están siendo cumplidas. Para el desarrollo de la prueba se programa una reunión con la Mtra. Carpio en el laboratorio de mecatrónica del CDM. Durante la prueba se propone que el usuario camine haciendo uso del

dispositivo portátil, mueva su rostro hacia el lado derecho e izquierdo para observar el desempeño de la orejera y se coloque el dispositivo de forma independiente para calcular el tiempo de sujeción. Adicionalmente se propone medir el rango de distancia vertical admisible que debe existir entre la ubicación del micrófono y de la bocina para que no exista reverberancia mientras el usuario se comunica. La figura 6.6 muestra una imagen del usuario durante la prueba del modelo funcional.

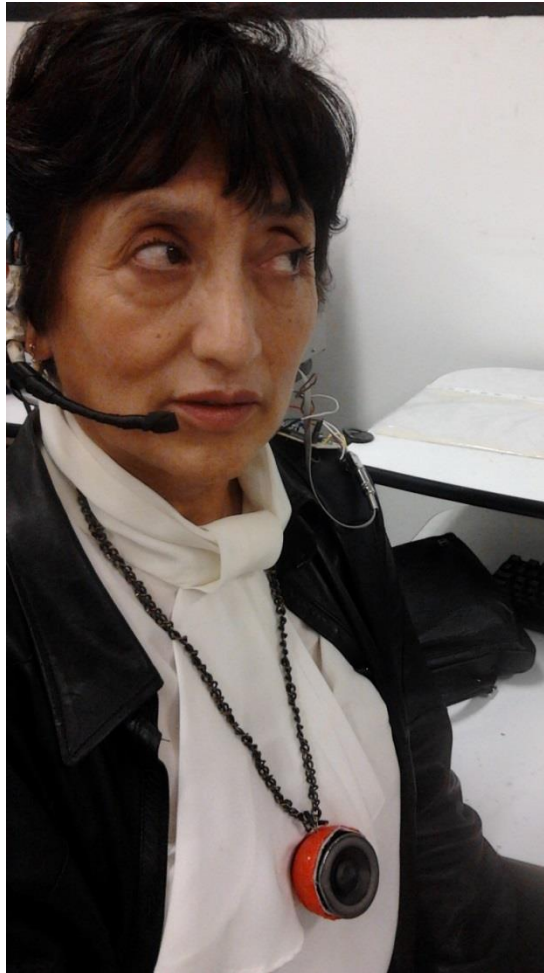


Figura 6.6 Usuario del sistema FIVOX durante la prueba del modelo funcional.

En la imagen anterior se observa la distribución de elementos durante la prueba, una vez que el usuario se ha colocado el sistema. Como parte final de la prueba del modelo funcional se pesa el dispositivo completo haciendo uso de una balanza digital y se hace una recopilación de impresiones y opiniones del usuario y otras personas en general sobre el producto.

7. RESULTADOS Y TRABAJO A FUTURO.

De las pruebas descritas en el capítulo anterior se obtiene la información que se presenta a continuación.

En primer lugar, en relación a las pruebas de verificación realizadas sobre los componentes se tiene que para el micrófono MEMS la distancia con la fuente sonora influye considerablemente en el valor del voltaje pico a pico (V_{pp}) obtenido a la salida de la tarjeta para una misma señal de audio. A continuación se presenta la tabla 7.1 con los resultados de la prueba realizada al micrófono.

Tabla 7.1 Resultados de la prueba del micrófono MEMS.

Distancia [mm]	Vpp [mV]	Distancia [mm]	Vpp [mV]
5	1026	55	480
10	990	60	480
15	960	65	400
20	860	70	380
25	700	75	400
30	600	80	400
35	520	85	380
40	500	90	380
45	480	95	360
50	480	100	360

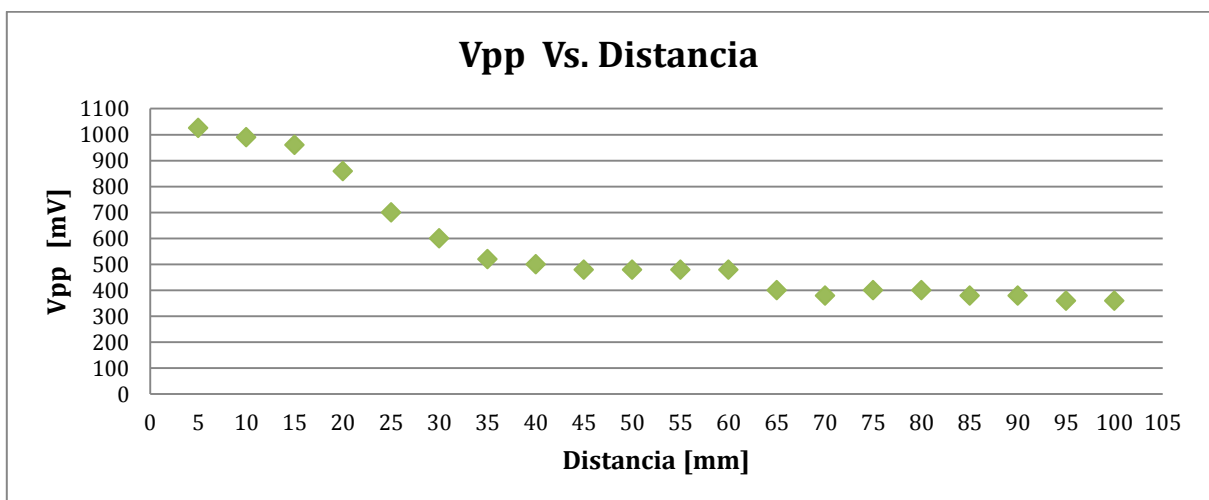


Figura 7.1 Gráfica de v_{pp} contra la distancia del micrófono a la fuente de sonido.

En la figura 7.1 se observa como a mayor distancia es menor la variación en el voltaje de la señal, siendo entre 5 y 30 [mm] el rango en donde se presentan los valores más altos de V_{pp} así como una mayor tendencia de cambio entre un punto y otro. Adicionalmente, a través de otras pruebas como la prueba de calidad acústica y la prueba del modelo funcional se observa que a pesar de ser un micrófono omnidireccional la posición y modo en que la señal de voz incide en él determina la cantidad de señal captada.

En relación al desempeño de la batería la realización de la prueba de carga/descarga de este componente permite observar que el desempeño es el esperado pues se verifica que el sistema de amplificación de voz funciona 6 horas continuas con esta fuente energética. No obstante, la descarga de la batería no es lineal por lo cual poco a poco se va perdiendo la potencia de la señal, especialmente en las últimas 2 horas. A continuación se presenta una tabla con los valores medidos, cada 20 minutos, para el voltaje de alimentación del sistema y del micrófono MEMS.

Tabla 7.2 Resultados de la prueba de desempeño de la batería.

Tiempo [min]	Voltaje de alimentación:	
	Sistema [V]	Micrófono [V]
0	3.89	3.214
20	3.868	3.188
40	3.84	3.164
60	3.83	3.16
80	3.81	3.146
100	3.8	3.14
120	3.78	3.01
140	3.74	3.08
160	3.7	3.05
180	3.65	2.99
200	3.59	2.94
220	3.49	2.88
240	3.35	2.74
260	2.5	2.2
280	1.99	1.58
300	1.91	1.55
320	1.89	1.529
340	1.83	1.47
360	1.77	1.4

La figura 7.2 permite observar que a partir de la cuarta hora de uso continuo del sistema hay una caída dramática en el voltaje alimentación del sistema total.

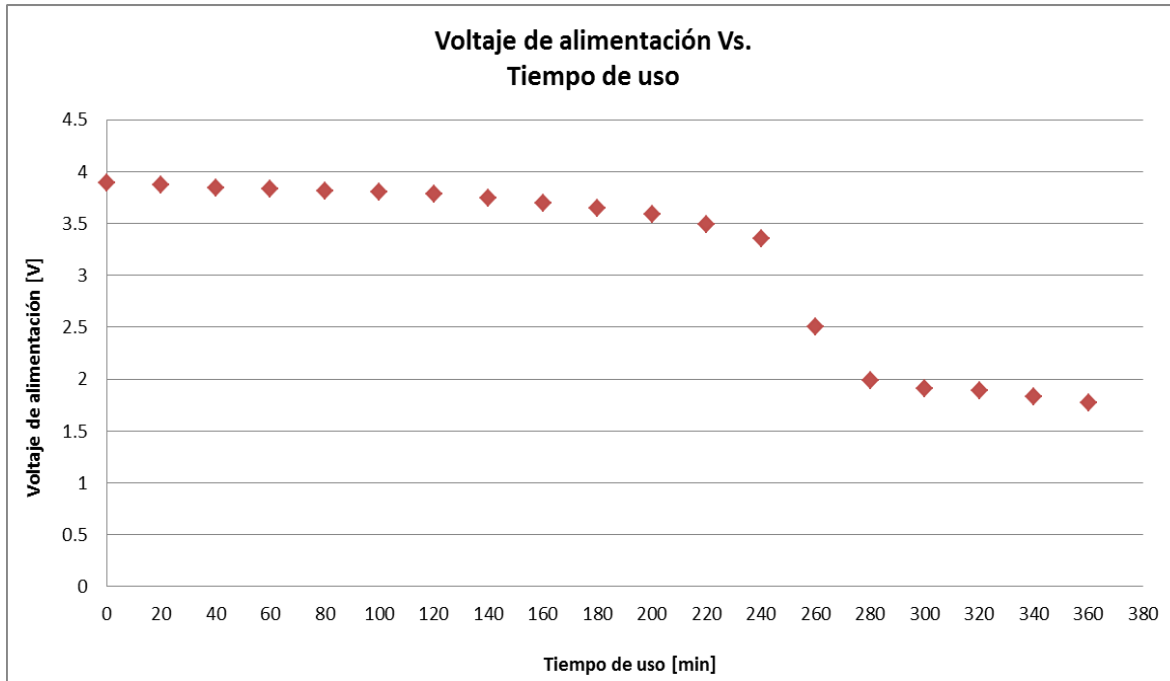


Figura 7.2 Gráfica del voltaje de alimentación contra el tiempo de uso del sistema FIVOZ.

Una vez concluido el proceso de descarga y desconectada la batería del sistema se observa que el voltaje final de ésta es de 1.99 [V], valor a partir del cual se conecta al respectivo circuito de recarga. El tiempo transcurrido desde la conexión mencionada hasta que se enciende el LED de carga completa es de 2 horas y el voltaje final se registra en 4.04 [V].

Otra de las pruebas realizadas a los componentes del sistema se enfoca en determinar cuál material es el más apropiado para ser utilizado en los elementos que almacenan componentes del sistema FIVOZ. Antes de realizar la prueba mecánica destructiva a las 3 carcasas construidas para la bocina, se registran los resultados de la prueba de reproducción de sonido planteada. En esta prueba se obtiene que al colocar la bocina de vibración sobre la superficie de las 3 carcasas para una misma señal de audio la diferencia en la potencia del sonido es imperceptible con lo cual se descarta la calidad de audio como factor de selección entre las piezas.

La prueba mecánica que se realiza a las carcasas proporciona como resultado la carga máxima soportada por la pieza, al momento de su ruptura, así como el desplazamiento máximo. Como se mencionó en el capítulo anterior para cada pieza se define una etiqueta numérica que permite su identificación, a continuación se presenta la tabla 7.3 con los resultados de la prueba de compresión.

Tabla 7.3 Resultados de la prueba de compresión de las carcasas.

Specimen Number	Load at Maximum (KN)	Displcment at Maximum (mm)
1	.2537	2.670
2	3.7130	14.340
3	4.4740	3.544
Mean:	2.8140	6.851
Standard Deviation:	2.2490	6.500

De la tabla anterior se observa que la carcasa fabricada con micro esfera de vidrio y resina (1) soporta una carga bastante pequeña que hasta un niño de en promedio 26 [kg] podría romperla al sentarse en ella. Para el caso de la segunda carcasa evaluada los resultados mostrados en la tabla no pertenecen al punto de ruptura ya que en este valor tanto el desplazamiento como la carga son menores a los registrados. Esta inconsistencia se confirma en la gráfica obtenida y corresponde a la forma en que la pieza es comprimida. A continuación se presenta la gráfica proporcionada por la máquina INSTRON como resultado de la prueba de compresión.

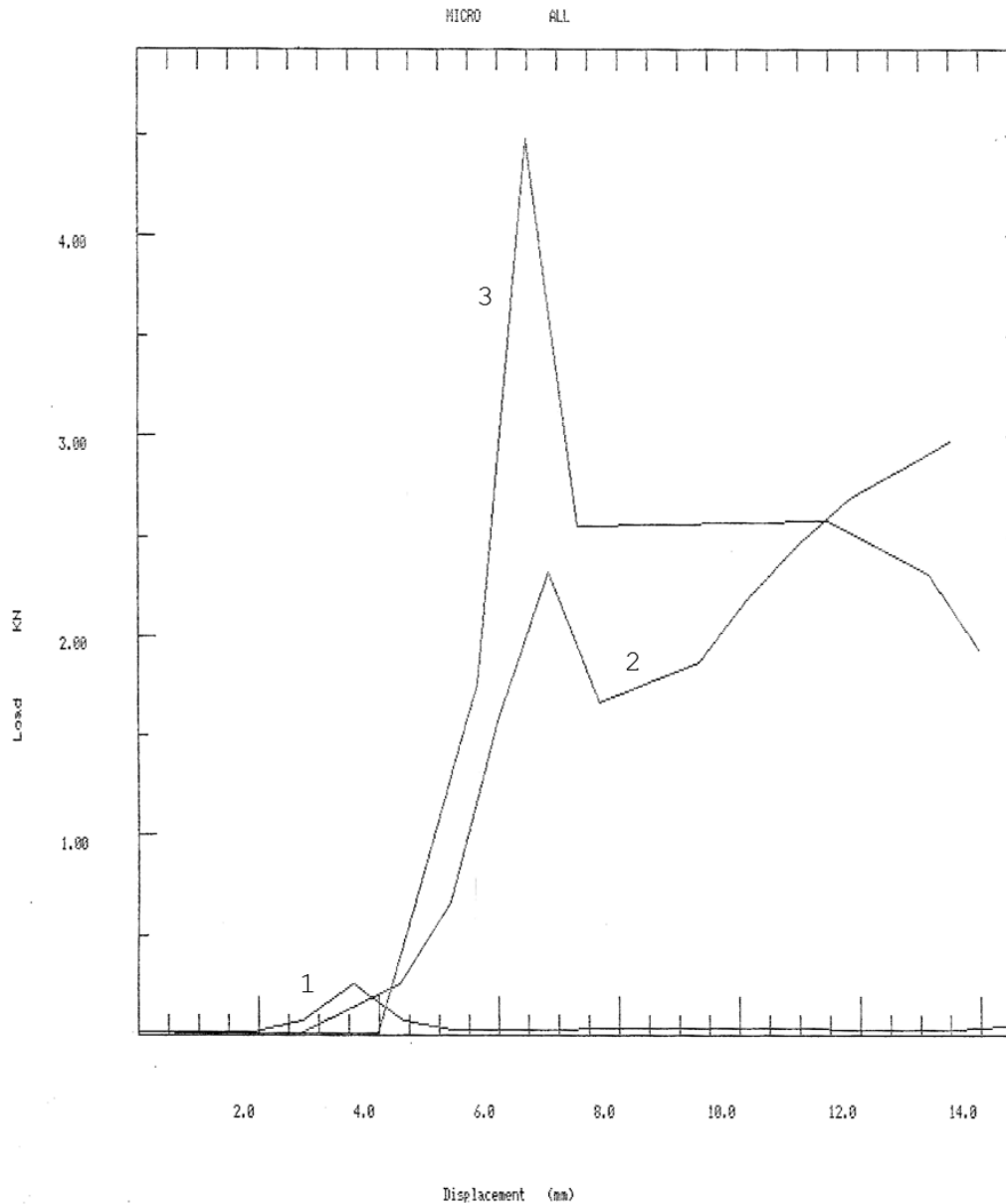


Figura 7.3 Gráfica de la carga contra el desplazamiento de las carcasis en la prueba de compresión.

En la gráfica presentada en la figura 7.3 se observa como la carcasa fabricada con fibra de vidrio con resina y recubrimiento de *gelcoat* (3) es la pieza más resistente. Así mismo se ve para cada una de las piezas su zona elástica y su punto de ruptura que es aquel en donde la pieza deja de soportar carga. Para el caso de la carcasa fabricada con micro esfera de vidrio, resina y fibra de vidrio (2) se ve que la carga máxima en la ruptura es de aproximadamente 2.3 [kN] y no 3.7 [kN] como indica la tabla 7.3.

Una vez finalizada la prueba de compresión se obtiene material fotográfico que permite entender de forma más clara el proceso de ruptura de las piezas. A continuación se muestra imágenes de las carcasas una vez terminada la prueba de compresión.



Figura 7.4 Carcasas al terminar la prueba de compresión.

Como se observa en la figura 7.3 la carcasa fabricada con micro esfera de vidrio con resina es bastante frágil lo que representa un inconveniente al considerar que es necesario realizar varias perforaciones a esta pieza y al *case* para la circuitería. Por su parte, la segunda carcasa mostrada en la imagen se ve resistente y aunque durante la prueba llega a la fractura, no se abre completamente lo que ocasiona las inconsistencias en la medición mencionadas anteriormente, adicionalmente, los acabados de esta pieza resultan poco convenientes para la apariencia de joyería que debe poseer el dispositivo. De las 3 carcasas mostradas la más resistente a la compresión y que además posee acabados convenientes para su desarrollo como pieza de joyería es la fabricada con fibra de vidrio con resina y recubrimiento de *gelcoat*, material que permite lijar y pintar la superficie fácilmente. Las razones anteriormente mencionadas ubican la carcasa 3 como la adecuada para su implementación en el sistema FIVOX:

A pesar de que los resultados obtenidos durante las pruebas de verificación proporcionan mucha información sobre los componentes, es necesario complementarlos con los resultados obtenidos en las pruebas de validación ya que estos incluyen al usuario y permiten saber que tanto se acopla el dispositivo a sus necesidades. En primer lugar, mediante la prueba de calidad acústica se observó que la bocina seleccionada y el nivel de amplificación manejado en los circuitos proporcionan un volumen de voz adecuada a la salida del sistema. Estos resultados se basan en la opinión de dos oyentes que variaban su posición dentro del salón durante la prueba. Así mismo en el desarrollo de esta actividad se observó que tal como lo reveló la prueba del micrófono MEMS la ubicación de este elemento debe ser entre 5 y 30 [mm] de la boca del usuario. Como

parte de los resultados de esta prueba se destaca que el uso de una esponja que cubra el micrófono es altamente recomendado con el fin de evitar los efectos de *poping* y ruido de viento mencionados en el capítulo 4.

La última prueba de validación realizada incluye la evaluación del desempeño del modelo funcional en el usuario. Durante esta prueba se ratifica que el sistema FIVOX permite al usuario libertad de movimiento por su característica de portabilidad, así mismo la potencia con que es amplificada la voz permite que la Mtra. Carpio sea escuchada en un salón de clases sin tener que forzar su voz. En relación al micrófono y a la orejera encargada de su sujeción se presentan problemas con esta pieza durante la prueba ya que el peso de la misma tiende a girarla en sentido de las manecillas del reloj, lo que aleja el micrófono de la boca del usuario. Igualmente, se detectó que aunque la orejera logre acomodarse para que la distancia de captura de la voz sea la apropiada, si el usuario gira su cabeza hacia el lado izquierdo, la orejera se separa de su rostro, impidiendo así una captura de voz apropiada. Por otra parte, una vez que el usuario se coloca el modelo se determina que para evitar la reverberancia en el sistema, el rango de distancia válida, entre el extremo superior de la carcasa y la ubicación del micrófono, es de 22 a 28 [cm]. Con respecto al tiempo de sujeción del dispositivo se registró que este es de 30 [s], es decir, un poco por abajo del tiempo ocupado por el usuario con el dispositivo actual. El peso total del dispositivo, medido en una balanza electrónica, se registró en 182 [g], siendo la bocina, su carcasa y la cadena con cable trenzado que la sostiene quienes aportan mayor cantidad al total.

Finalmente, como parte del trabajo a futuro que se puede realizar para el sistema FIVOX se encuentra el re-diseño de la orejera que sujeta al micrófono. Para el rediseño sugerido se plantea la integración de una pieza adicional que de mayor soporte al sistema de sujeción, evitando así el giro que se presenta actualmente. Dicha pieza puede ser un audífono que se ajuste al oído o en su defecto la búsqueda de una nueva orejera dadas las dificultades de manufactura presentadas para una pieza con esa geometría.

Adicionalmente, a pesar de que el dispositivo informa al usuario cuando la batería se encuentra en 75% de su capacidad, se recomienda implementar como parte del subsistema de control de fallas un corte en el suministro energético una vez alcanzados los 2[V], con el fin de evitar el desgaste total de la batería de Li-ion y por tanto disminuir su funcionamiento o incluso llevarla a una descarga total e irreversible. Con las modificaciones planteadas sería posible la adecuación del modelo funcional en un prototipo que pueda ser usado por la Mtra. Carpio en sus actividades cotidianas, reemplazando así el amplificador de voz Steren que posee en la actualidad.

CONCLUSIONES.

Mediante el uso de un enfoque de sistemas en el diseño y fabricación del modelo funcional del sistema portátil de amplificación se obtiene un dispositivo de alta confiabilidad que funciona cumpliendo las necesidades del usuario. La clara comprensión del sistema, de los escenarios en los cuales se desarrolla y los requerimientos demandados por los *stakeholders*, permite una definición precisa del problema y por tanto una solución acertada.

Durante el planteamiento del problema y la generación de soluciones se da seguimiento a las necesidades que dan origen al proyecto a través de etiquetas asignadas a los requerimientos y especificaciones, contribuyendo así a mantener como guía de diseño dichas demandas. Por otra parte, se concluye que el proceso de investigación llevado a cabo en todas las etapas del diseño, especialmente en la búsqueda de soluciones, contribuye en la integración de nuevas tecnologías ausentes en los dispositivos comerciales del mercado nacional. Adicionalmente, el análisis realizado sobre las distintas tecnologías, posterior a la obtención de especificaciones e identificación de funciones permite avanzar en la generación de conceptos y el desarrollo de propuestas de solución que son factibles desde su concepción y que reflejaban en mayor o menor medida las expectativas de las partes interesadas en el dispositivo.

El uso de tarjetas de desarrollo con funciones dedicadas y componentes especializados, las cuales han sido previamente probadas por su fabricante, proporciona una mayor calidad al sistema total, así como un enfoque integrador que facilita la labor de mantenimiento que debe desarrollar el *stakeholder* al que le corresponda tal tarea.

Así también, la realización de pruebas de verificación a los componentes y algunos subsistemas del sistema FIVOX facilitan la identificación de fallas y la selección de materiales adecuados tanto por su resistencia como acabados para su uso en la piezas cuya función es el almacenamiento de componentes. De forma complementaria, la implementación de un plan de validación del diseño en distintas etapas y con ayuda del usuario permite ver en qué medida cumple el dispositivo con las necesidades de éste; así, en caso de necesitarse un rediseño o re-elección de componentes, ésta se realice en etapas tempranas y no cuando esté listo el producto. No obstante, para el caso del sistema FIVOX se evita cambiar los elementos seleccionados para el concepto solución pues estos pasan un proceso previo de definición y pruebas, contribuyendo así a que una vez validados con el usuario los resultados sean positivos y se mantenga lo previamente definido.

A través de una única iteración se obtiene el modelo funcional del sistema y sólo resulta necesario hacer un re-diseño de la orejera encargada de la sujeción del micrófono, concluyendo así que la reducción de tiempos y gastos por re-diseño se obtiene gracias al enfoque tomado en el proceso de diseño y que termina con la obtención de un sistema confiable, de bajo peso y consumo energético, con alimentación recargable y facilidad de mantenimiento.

ANEXOS.

Como parte complementaria al trabajo presentado hasta el momento se incluyen unos anexos que proporcionan información adicional. A continuación se presenta un glosario, dos pruebas realizadas para la determinación de especificaciones, información sobre las refacciones de las piezas del sistema y sobre materiales compuestos.

ANEXO I. GLOSARIO.

Arquitectura: vínculo entre las funciones y los elementos mecánicos /electrónicos que conforman a un sistema o subsistema.

Catalizador: sustancia que está presente en una reacción química en contacto físico con los reactivos y acelera, induce o propicia dicha reacción sin actuar en la misma [27].

Cliente: persona que accede de manera directa a un producto o servicio a partir de un pago que realiza por el mismo

Efecto de memoria: fenómeno que reduce la capacidad de una batería y se produce al recarga sin que ésta haya agotado completamente su energía.

Enfoque *Bottom up*: enfoque en el cual las partes individuales se diseñan con detalle y luego se enlazan para formar componentes más grandes, que a su vez se va integrando hasta que se forma el sistema completo.

Enfoque *Top down*: enfoque en el cual cada parte del sistema se refina a medida que se va avanzando en el diseño, lo que implica que cada nueva parte es redefinida aumentando cada vez el grado de detalle, hasta que la especificación completa es lo suficientemente detallada para validar el modelo.

Escenario: espacio físico o circunstancial que tiene influencia en la definición del sistema, ya que con ayuda de éste se deducen y analizan las posibles respuestas dadas por el sistema ante un mismo estímulo para distintos parámetros de inicio.

Especificación: expresión que describe las características técnicas mínimas que debe tener un producto para cumplir que los requerimientos que dan origen a él.

Fibra de vidrio: material obtenido mediante extrusión o centrifugado del vidrio fundido que se utiliza como aislante térmico y acústico y también como refuerzo estructural de otros materiales [28].

Gelcoat: recubrimiento de curado rápido fabricado a base de resina, que llega a ser parte integrante del laminado final y es usado normalmente para mejorar el acabado superficial [29].

Homogenizar: revolver un material que se encuentra almacenado en un recipiente antes de su uso y con el fin de evitar la concentración inadecuada de sus partículas.

Interacción: Acción que se ejerce recíprocamente entre dos o más objetos, agentes, fuerzas, funciones, etc. [30]

Interfaz: interacción existente entre dos subsistemas, de un subsistema con el exterior (*stakeholders* u elementos externos) o del sistema mismo con todo aquello que está afuera de sus fronteras.

Micro esfera de vidrio: componente esférico de granulometría controlada que es utilizado para lograr un alto índice de reflectancia sobre las pinturas de señalización vial [31].

Modelo: representación física que tiene las características de la pieza a la cual se le busca realizar un molde.

Molde: cuerpo hueco que posee el negativo de las características del objeto que se busca copiar y se utiliza para vaciar en él, el material final de la pieza.

Requerimiento: enunciado que ilustra una necesidad existente, que debe cumplida a satisfacción de las partes interesadas en un determinado proyecto.

Sensibilidad: nivel de tensión eléctrica (dBV) a la salida de un micrófono.

Sistema: grupo de componentes interrelacionados que al trabajar juntos, y con un objetivo común, pueden solucionar una necesidad asignada.

Sistemático: aplicación de conocimiento científico y técnico apropiado para pasar de los requerimientos del sistema al diseño del mismo [2].

Sistémico: entendimiento del todo y no sólo como la suma de partes, para analizar un problema de forma completa tomando en cuenta todas las facetas, variables y aspectos sociales vinculados con el desarrollo técnico de un sistema [2].

Stakeholder: aquellas personas u organizaciones que tienen alguna responsabilidad, opinión, interés o influencia (directa o indirecta) en un sistema.

Subsistema: conjunto de elementos mecánicos, electrónicos, de sujeción que realizan un grupo de funciones específicas dentro de un área del sistema.

Sujeción: elemento para sujetar dos elementos y/o superficies.

Transductor: dispositivo que convierte una señal de un tipo de energía en otra.


Validación: etapa en la cual se realizan pruebas para determinar que se ha construido el sistema correcto y que este cumple con los requerimientos de los *stakeholders*.





Verificación: en el cual se realizan pruebas a los diferentes componentes y subsistemas del producto con el fin de garantizar la correcta construcción del sistema.

ANEXO II. PRUEBAS DE PESO DE COLLARES.

Con el fin de determinar dentro de las especificaciones del sistema FIVOZ, el peso total que éste tendrá, se pesan 5 collares de mujer con diferente forma, materiales y tamaño. El objetivo de esta prueba es encontrar el promedio de peso de los collares y así identificar el peso admisible para el dispositivo. A continuación se presenta una tabla con los collares, así como su respectivo peso.

Tabla A1. Collares y sus respectivos pesos.

COLLAR.	PESO [g].
	31.2

	22.5
	116.4
	63.8
	74.4
Promedio:	60

Como se observa en la tabla el peso promedio de los collares es de 60 [g] y el peso máximo es de 116.4 [g], lo que muestra que las mujeres pueden cargar éstos valores sin sufrir molestias.

ANEXO III. PRUEBAS DE DEFINICIÓN DE POTENCIA ACÚSTICA.

Para la definición de la potencia acústica necesaria para que sea escuchada la voz de la Mtra. Carpio se debe realizar una prueba con diferentes bocinas y así establecer cuál es la potencia mínima requerida. Con el fin de que las condiciones de prueba fueran las mismas para cada bocina se conectó un micrófono electret, cuya señal fue amplificada por un TL081 para posteriormente ingresar al amplificador de potencia LM380. La tabla A2 muestra las bocinas utilizadas en la prueba y el resultado obtenido para cada una.

Tabla a.2 Resultado de la prueba de definición de potencia acústica.

Bocina.	Potencia.	Resultado.
	0.5 [W]	La salida de voz poseía un volumen muy bajo, sin que se notara realmente una amplificación
	2[W]	La voz del usuario a la salida de la bocina tenía un volumen bueno aunque por momentos hacía un mínimo esfuerzo para comunicarse.
	5[W]	Con esta bocina se escucha la voz del usuario con un buen volumen y no es necesario un esfuerzo en su voz durante el proceso. La voz es escuchada por un grupo de 5 personas.

En la tabla se muestra como a partir de 2[W] el nivel de amplificación de la voz del usuario es bueno, aunque para que el esfuerzo realizado sea mínimo se recomiendan valores de potencia acústica superiores, no obstante, la elección de una bocina depende adicionalmente de factores de peso y dimensiones que se definen en el apartado 4.1.1.

ANEXO IV. REFACCIONES.

Durante el diseño del sistema FIVOZ se plantea el análisis del escenario de mantenimiento y se definen los requerimientos de modo que sea posible darle soporte técnico al sistema después de un tiempo de uso. Así mismo, el uso de elementos comerciales y circuitos de función dedicada facilita la labor de mantenimiento que debe ser brindada por el *stakeholder* respectivo (usuario o Dpto. de Mecatrónica).

Para el caso de la bocina usada en el sistema FIVOZ, se sabe que su fabricante es la empresa HIBOX con sede en Taiwán y China. Sin embargo, la adquisición de esta pieza para su reemplazo, en caso de posible falla, sería accesible pues hace parte de un televisor plasma marca Vizio de 32" y con modelo VP322HDTV10A. El número de referencia de esta bocina de 8 [Ω] y 10[W] es 0335-1008-1950 y puede ser encontrada en distintas tiendas en línea con este número. A continuación se imagen de ebay.com, página web que provee dicho componente.

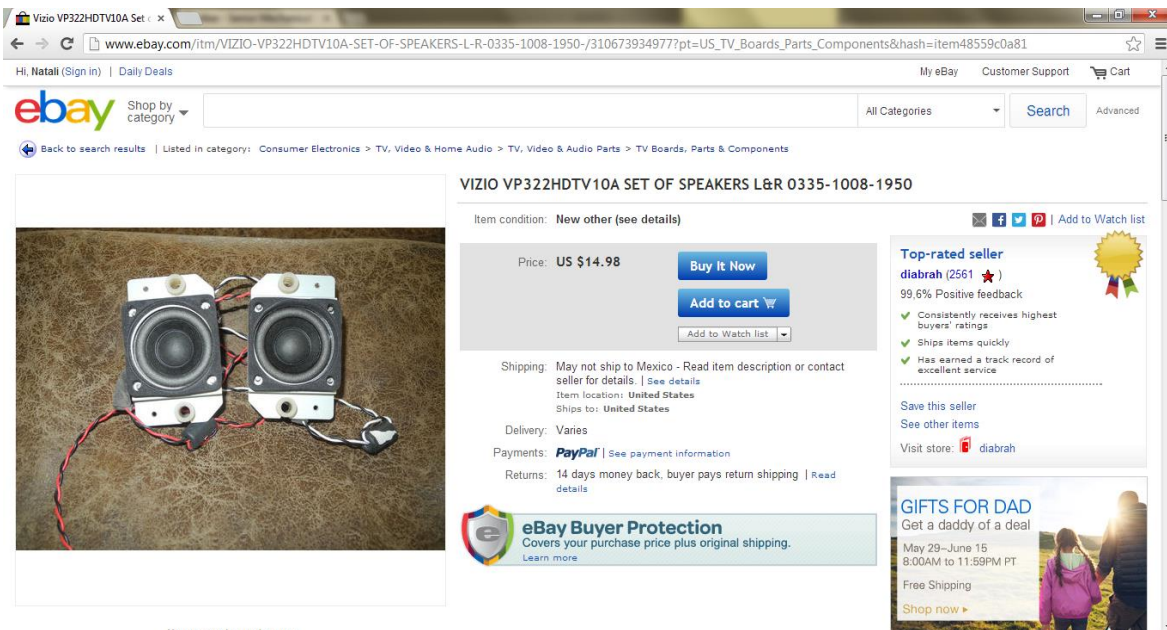


Figura A.1 Proveedor de bocinas HIBOX 0335-1008-1950[32].

Por otra parte, componentes como el micrófono MEMS, pueden ser encontrados en varias tiendas en línea aunque es Sparkfun la más recomendable por la cantidad de distribuidores que posee en México y que pueden ser encontrados en su página web como se muestra en la siguiente figura.

The screenshot shows the Sparkfun Electronics website interface. At the top, there is a red banner for the 'NATIONAL TOUR 2013' featuring a bus icon. Below the banner is a navigation menu with links for Products, Support, Tutorials, Distributors, About Us, and Contact. A search bar is located below the menu. On the left side, there is a 'Categories' sidebar with various product categories listed. The main content area displays the 'Distributors' page for Mexico, featuring a world map and a search bar with 'mexico' entered. Below the map, there are buttons for 'All', 'Brick and Mortar', 'Online', and 'Hackerspaces'. The page lists two distributors:

Inteligencia Artificial	Juarez Sur N. 15 Loc. 9 Col. Centro Queretaro Qro. 76000 Mexico North America
mElektronikos	MONTECITO # 38 PISO 17 OFNA 11 COL. NAPOLES MEXICO, D.F. 03810 Mexico North America

Figura A.2 Distribuidores de Sparkfun en México[33].

En la imagen anterior se observan sólo dos de los aproximadamente quince distribuidores existentes en todo el país y que pueden ser contactados de forma personal o a través de sus páginas web.

La tarjeta de recarga USB puede ser encontrada tanto en la página ebay.com como en la tienda en línea Shoptronica. Así mismo, Sparkfun maneja una tarjeta de recarga USB con otro controlador que en un momento determinado puede servir como reemplazo de la utilizada actualmente en el sistema FIVOZ. Adicionalmente, se proporcionan los esquemáticos tanto de la tarjeta de recarga como del amplificador de potencia con lo cual se podrían fabricar dichos circuitos si se cuenta con los integrados correspondientes. El reemplazo de los demás componentes electrónicos es relativamente sencillo pues son comerciales y se pueden conseguir en cualquier tienda de este tipo.

Finalmente, para el reemplazo de las piezas que almacenan los componentes se proporcionan los moldes, así como las dimensiones de las mismas para el respectivo cálculo empleado en la fabricación de las piezas. No obstante, dadas las pruebas mecánicas realizadas se intuye que el reemplazo de estos elementos no será requerido con mucha frecuencia.

ANEXO V. MATERIALES COMPUESTOS.

Los materiales compuestos son aquellos formados por dos o más componentes y se caracterizan porque las propiedades del material final son superiores a las que tienen los materiales constituyentes por separado [34]. Están compuestos por una fase continua denominada matriz y otra dispersa conocida como refuerzo. El refuerzo proporciona las propiedades mecánicas al material compuesto y la matriz resistencia térmica y ambiental. De esta forma, las propiedades de los materiales compuestos dependen de una serie de factores [34]: propiedades de la matriz y del refuerzo, contenido de refuerzo, orientación del refuerzo, método de producción del material compuesto.

Una primera clasificación de los materiales compuestos es la que analiza el tipo de matriz, distinguiéndose los siguientes tipos [35]:

- Materiales compuestos de matriz METÁLICA o MMC (*METAL MATRIX COMPOSITES*).
- Materiales compuestos de matriz CERÁMICA o CMC (*CERAMIC MATRIX COMPOSITES*).
- Materiales compuestos de matriz de CARBÓN.
- Materiales compuestos de matriz ORGÁNICA o RP (*REINFORCED PLASTICS*) y dentro de éstos, son los más utilizados:
 - ✓ CFRP (*CARBON FIBER REINFORCED PLASTICS*) o materiales compuestos de fibra de carbono con matriz orgánica,
 - ✓ GFRP (*GLASS FIBER REINFORCED PLASTICS*) o materiales compuestos de fibra de vidrio con matriz orgánica.

Por otra parte, en la relación a los refuerzos hay de dos tipos de materiales compuestos [35]:

- FIBRAS: elementos en forma de hilo en las que la relación $L/D > 100$,
- CARGAS: el resto, utilizadas en elementos de poca responsabilidad estructural

Los materiales compuestos de matriz orgánica (polimérica) y refuerzo de fibra son los de mayor uso en la actualidad en industrias como la automovilística, naval, aeronáutica, aeroespacial, electrónica, de material deportivo y construcción, reemplazando a los metales y otros materiales en muchas aplicaciones.



Figura A.3 Frente de camión fabricado con resina poliéster y fibra de vidrio [34].

Matrices orgánicas.

Las matrices dentro de un material compuesto tienen como función dar estabilidad al conjunto, transfiriendo las cargas al refuerzo, así como proteger al refuerzo del deterioro mecánico y químico y evitar la propagación de grietas; para lo cual se debe dar una buena adherencia entre la matriz y el refuerzo.

Las matrices orgánicas conocidas comercialmente como plásticos pueden ser:

- Termoplásticos: usados en aplicaciones de bajos requisitos, aunque se están empezando a emplear termoplásticos avanzados para altas prestaciones.
- Elastómeros: matrices utilizadas en neumáticos y cintas transportadoras,
- Duroplásticos o termoestables: son las matrices más empleadas en materiales compuestos de altas prestaciones. Entre los duro plásticos, también denominados resinas, se encuentran los siguientes tipos de materiales para matrices:

- ✓ Epoxis: son las de uso mayor general en varias aplicaciones por su alta resistencia mecánica, su elevada resistencia térmica aunque su precio es bastante alto.
- ✓ Fenólicas: son resistentes al fuego. Utilizadas, por ejemplo, en mamparas contra incendios y paneles interiores de aviones.
- ✓ Poliésteres: poco deseables por sus bajas características mecánicas aunque son populares por su bajo precio y rápido tiempo de curado.

Refuerzos.

El segundo componente de un material compuesto es el esfuerzo, el cual tiene la función de transmitir las cargas a la matriz, por lo tanto define la mayor parte de las características mecánicas del material, como la resistencia y la rigidez. El refuerzo puede constituir entre un 20-80% en volumen del material compuesto. Las fibras son el refuerzo más utilizado en los materiales compuestos de matriz orgánica.

- Fibra de vidrio: Es la más utilizada debido a su resistencia mecánica específica (resistencia a la tracción/densidad) superior a la del acero, su buena relación propiedades/coste, estabilidad dimensional, facilidad de fabricación y buena resistencia térmica. La fibra de vidrio se obtiene mediante la fusión de sus componentes en un horno y posterior estiramiento del material a su salida por una serie de hileras. La fibra de vidrio se recubre con un material denominado ensimaje que protege la superficie del deterioro por fricción o abrasión y facilita la unión entre la fibra y la matriz.

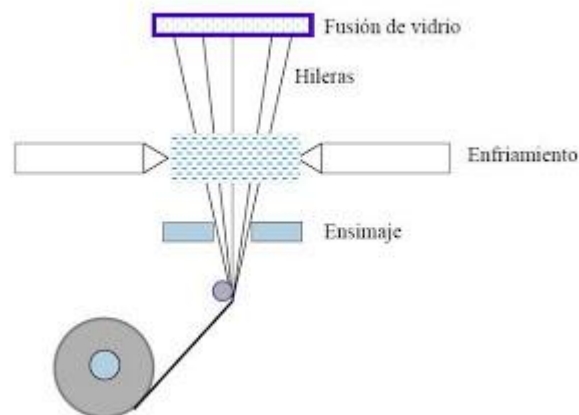


Figura A.4 Fabricación de la fibra de vidrio [32].

Según su composición química existen varios tipos de fibra de vidrio, que presentan diferentes propiedades:

- ✓ E (eléctrico) (vidrio E): es la más utilizada por su buena relación propiedades/precio.
 - ✓ R (*resistance*) y S (*strength*): se destaca por sus buenas propiedades mecánicas.
 - ✓ C(*chemical*): conocida por su buena resistencias química, se puede utilizar en las capas superficiales de estructuras sometidas a condiciones ambientales agresivas.
 - ✓ D (*dielectric*): este tipo de fibra tiene excelente propiedades dieléctricas y se utiliza en circuitos electrónicos.
- Fibra de carbono: de muy alta resistencia y rigidez, por la estructura cristalográfica del grafito. Se puede obtener a partir de poliacrilonitrilo (PAN) o de brea, siendo la segunda la más económica aunque no la más común. Para obtener fibra de carbono a través del PAN, las fibras se carbonizan en presencia de oxígeno. Dependiendo de la temperatura de tratamiento se pueden obtener fibras con diferentes propiedades mecánicas: a mayor temperatura, mayor costo del tratamiento y mayor módulo elástico de la fibra. Entre las ventajas de la fibra de carbono se destacan su resistencia química, coeficiente de dilatación térmica bajo, propiedades específicas altas; sin embargo un diferencia significativa sería su alto costo.
 - Fibras cerámicas: de cuarzo o sílice. Flexibles y con muy bajo alargamiento y gran resistencia la choque térmico. Se utilizan en estructuras radio transparentes.
 - Fibras orgánicas: obtenidas a partir de polímeros. La más utilizada es el KEVLAR la cual posee alta rigidez, coeficiente de dilatación térmica longitudinal nulo, baja densidad, y excelente resistencia al impacto.
 - Fibras metálicas: de aluminio, acero y titanio, más densas que las anteriores, y de elevado costo.

Recubrimientos.

Al realizar piezas con plásticos reforzados con fibra, es necesario aplicar otros materiales como recubrimientos que mejoren los acabados. Uno de los materiales que sirve para este propósito es el *gelcoat*. El *gelcoat* es una resina pigmentada, modificada y no reforzada que constituye la superficie de las partes moldeadas en poliéster reforzado con fibra de vidrio. Este material desempeña tres funciones: proteger el laminado contra la acción de la intemperie y la humedad, proporcionar un acabado coloreado, liso y brillante a la superficie de la pieza, servir como base para la aplicación de pintura. Por lo general, el *gelcoat* se aplica sobre la superficie del molde, y después se realiza el laminado estructural. En este caso, el *gelcoat* reproduce las características superficiales del molde y las transfiere a la parte moldeada. Los moldes lisos y brillantes permiten el moldeo de piezas con las mismas características que el molde [36].

REFERENCIAS.

- [1] C.Haskins, "Introduction 2", *Industrial Systems Engineering*, pp. 2-10, Feb. 2012.
- [2] B.S. Blanchard, *System Engineering Management*, 3rd ed., Ed. New Jersey, United States: John Wiley & Sons Inc, 2004.
- [3] D. M. Buede, *The Engineering Design of Systems: Models and Methods*, 1st ed., A. P. Sage, Ed. United States: John Wiley & Sons Inc, 2000.
- [4] R. Paul, Ed., *Practitioner Series: Requirements Engineering*, ser. London, Great Britain: Springer –Verlag, 2002, vol 1.
- [5] (2012) Steren website. [Online]. Available: <http://www.steren.com.mx/> Fecha de consulta: 29 de septiembre 2012.
- [6] (2012) Avanteam website. [Online]. Available: <http://www.avanteam.com/> Fecha de consulta: 29 de septiembre 2012.
- [7] (2012) Kec Innovatios website. [Online]. Available: <http://www.kecinnovations.com/> Fecha de consulta: 29 de septiembre 2012.
- [8] (2012) Product homepage on ALIBABA. [Online]. Available: http://tunersys.en.alibaba.com/product/599435203-210646386/TA102_Tour_guide_Amplifier_Speaker_with_USB_MP3_function_from_China_Tunersys.html Fecha de consulta: 29 de septiembre 2012.
- [9] (2012) Real Academia Española website. [Online]. Available: <http://www.rae.es/> Fecha de consulta: 4 de octubre 2012.
- [10] O. de Weck. (2009) Lecture-note homepage on MIT. [Online]. Available: http://ocw.mit.edu/courses/aeronautics-and-astronautics/16-842-fundamentals-of-systems-engineering-fall-2009/lecture-notes/MIT16_842F09_lec03.pdf Fecha de consulta: 10 de octubre 2012.
- [11] INSTITUTE FOR ELECTRONICS AND ELECTRICAL ENGINEERS. Glosario estándar de la terminología de la ingeniería de software estándar 610.12-1990. s.l.: La institución, 1997.
- [12] M. Sayar-Liverpull. (2012) Como elegir tu micrófono 2a parte homepage on HISTBOOK. [Online]. Available: <http://www.hitsbook.com/blog/2012/04/como-elegir-tu-microfono-2a-parte/> Fecha de consulta: 15 de octubre 2012.

- [13] (2012) Propiedades de micrófonos homepage on SONIDO-ZERO. [Online]. Available: <http://www.sonido-zero.com/sumario/propiedades-de-microfonos-4.html> Fecha de consulta: 20 de octubre 2012.
- [14] S. Castañeda, "Diseño conceptual", *Diseño mecatrónico*, pp. 3-12, Sept. 2011.
- [15] *Selecting the Right Battery System For Cost-Sensitive Portable Applications While Maintaining Excellent Quality (AN1088)*, Microchip Technology Inc, 2007.
- [16] (2012) LiPo USB Charger homepage on SPARKFUN. [Online]. Available: [https://www.sparkfun.com/datasheets/Prototyping/Batteries/LiPo-USB-Charger-v21\(2\).pdf](https://www.sparkfun.com/datasheets/Prototyping/Batteries/LiPo-USB-Charger-v21(2).pdf) Fecha de consulta: 25 de octubre 2012.
- [17] E. Gary W., H. Kieran P., "Historia de los micrófonos de consume masivo: Encuentro entre el micrófono condensador electret y de sistema micro electro mecánico", *Acoustics today.*, pp. 1-7, Abr. 2009.
- [18] A. Roldán, "Apuntes de acústica aplicada", *Acústica*, pp.5-7, 2011.
- [19] S. Ortega.(2012) Las nuevas tecnologías de Sistemas Microelectromecánicos (MEMS) en la vida diario homepage on CINVESTAV. [Online]. Available: <http://www.gdl.cinvestav.mx/ofelia/uploads/JJC2011/Presentaciones/4%20MEMS%20Vida%20diariaSusanaJJC2011.pdf> Fecha de consulta: 30 de octubre 2012.
- [20] L.R. Ceollo. (2012) Amplificadores operacionales (introducción) homepage on UAEH. [Online]. Available: http://www.uaeh.edu.mx/docencia/P_Presentaciones/tizayuca/sistemas/presentacion%20analogica.pdf Fecha de consulta: 30 de enero 2013
- [21] (2012) Lección 07 homepage on UNIOVI. [Online]. Available: <http://www.ate.uniovi.es/5809/Lecci%C3%B3n07.pdf> Fecha de consulta: 2 de febrero 2013.
- [22] (2011) Micrófono inalámbrico de solapa y diadema homepage on STEREN. [Online]. Available: <http://www.steren.com.mx/catalogo/prod.asp?p=2277&desc=> Fecha de consulta: 3 de febrero 2013.
- [23] "TPA301 Audio Power Amplifier Evaluation Module. User's guide", Texas Instrument,2001.
- [24] "TP4056 data sheet," Nanjing Top Power ASIC Corp.
- [25] "ADMP401 data sheet", Analog Devices, Norwood, United States.

- [26] (2012) Compression Test homepage on INSTRON. [Online]. Available: <http://www.instron.com.es/wa/glossary/Compression-Test.aspx> Fecha de consulta: 5 de mayo 2013.
- [27] (2013) Catalizadores homepage on ESCUELAS. [Online]. Available: <http://www.oni.escuelas.edu.ar/olimpi99/autos-y-polucion/cataliza.htm> Fecha de consulta: 2 de junio 2013.
- [28] (2013) Fibra de Vidrio homepage on CONSTRUMATICA. [Online]. Available: http://www.construmatica.com/construpedia/Fibra_de_Vidrio Fecha de consulta: 2 de junio 2013
- [29] (2013) Glosario de términos materiales compuestos homepage on POLISUIN. [Online]. Available: <http://www.polisuin.com/terminos.php#g> Fecha de consulta: 2 de junio 2013.
- [30] (2013) Interacción homepage on RAE. [Online]. Available: <http://lema.rae.es/drae/?val=interacci%C3%B3n> Fecha de consulta: 2 de junio 2013.
- [31] (2013) Microesfera homepage on PINTEX. [Online]. Available: <http://www.pintex.com.mx/microesfera.html> Fecha de consulta: 2 de junio 2013.
- [32] (2012) VIZIO VP322HDTV10A SET OF SPEAKERS L R 0335 1008 1950 homepage on EBAY. [Online]. Available: <http://www.ebay.com/itm/VIZIO-VP322HDTV10A-SET-OF-SPEAKERS-L-R-0335-1008-1950-/310673934977> Fecha de consulta: 3 de junio 2013.
- [33] (2013) Distributors homepage on SPARKFUN. [Online]. Available: <https://www.sparkfun.com/distributors> Fecha de consulta 3 de junio 2013.
- [34] (2011) Materiales compuestos homepage on TECNOLOGIADELOSPLASTICOS. [Online]. Available: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2011/07/materiales-compuestos.html> Fecha de consulta: 5 de junio 2013.
- [35] S. Poveda. (2013) Materiales compuestos homepage on UPM. [Online]. Available: http://ocw.upm.es/expresion-grafica-en-la-ingenieria/ingenieria-grafica-metodologias-de-diseno-para-proyectos/Teoria/LECTURA_COMPLEMENTARIA/MATERIALES/materialescompuestos.pdf Fecha de consulta: 5 de junio 2013.
- [36] (2013) Gel Coat homepage on PLASTIQUIMICA. [Online]. Available: http://www.plastiquimica.cl/pdf/Gel_Coat.pdf Fecha de consulta: 5 de junio 2013.