

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE CÓMPUTO
SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA

No. serie: TT0280

Serie: Amarilla
Documentos Técnicos

24 de Mayo del 2002

SISTEMA TRADUCTOR DEL LENGUAJE DE SEÑAS A VOZ

BARDALES CRUZ HERIBERTO

Calle General Lucio Blanco No 3
Col. Revolución, C. P. 15460
Del. Venustiano Carranza, Distrito Federal

GUERRERO VARGAS JORGE

Calle Privada de Tenango No. 7
Col. Ampliación Independencia, C. P. 54130
Tlalnepantla, Estado de México

PEÑA RANGEL NORBERTO

Calle Cacatúa Mz.2 Lt.12-B
Col. Rinconada de Aragón, C. P. 55140
Ecatepec de Morelos, Estado de México

SANTANA QUINTERO LUIS VICENTE

Calle de los Fiordos #24
Col. Acueducto de Guadalupe, C. P. 07279
G. A. M., D. F.

VITE SILVA ISRAEL

Calle Tulipán #7
Fraccionamiento. Miraflores, C. P. 54160
Tlalnepantla, Estado de México

RESUMEN

A continuación se presenta el diseño, desarrollo, construcción e implementación de un sistema portátil que traduce el lenguaje de señas a voz, enfocado a las personas que carecen del habla. Básicamente está constituido por un guante con sensores de flexión, el cual es manipulado por el usuario para formar las señas del lenguaje de los sordomudos, para después ser captadas por nuestro sistema, que tiene la capacidad de reconocerlas por medio de un microcontrolador programado con una unidad de inferencia difusa y por último se emitirá el sonido correspondiente a la letra o palabra reconocida por medio de un sintetizador de voz y una bocina, con la finalidad de que las personas con esta discapacidad puedan comunicarse con cualquier otra persona.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	6
OBJETIVO	6
PARTE 1: ASPECTOS TEÓRICOS Y ANÁLISIS DEL SISTEMA	
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES	
1.1 Causas de la discapacidad de los sordomudos.....	8
1.1.1 Trastornos del habla.....	8
1.1.2 Trastornos de la voz.....	9
1.1.3 Trastornos auditivos.....	9
1.1.4 Educación y entrenamiento.....	10
1.2 Sistemas de comunicación.....	10
1.2.1 El lenguaje gestual.....	10
1.2.2 Lenguaje signado.....	11
1.3 Instituciones de ayuda para sordomudos.....	11
1.4 Discapacidad en México.....	11
1.5 Proyectos que ayudan a los sordos a comunicarse.....	14
1.5.1 Audífono.....	14
1.5.2 Implantes.....	14
1.5.3 Algunos dispositivos para discapacitados creados por estudiantes Mexicanos de ingeniería.....	15
1.5.4 Closed caption on line.....	15
1.5.5 Simon.....	15
1.5.6 Videoteléfono para sordos.....	15
CAPÍTULO 2. GUANTES DE DATOS, SISTEMAS SENSORES Y BATERÍAS	
2.1 Guantes de datos.....	16
2.2 Sensores para el diseño de guantes.....	17
2.2.1 Sistema electromecánico.....	17
2.2.2 Sistema con fibra óptica.....	17
2.2.3 Sistema con sensores de curvatura.....	18
2.2.4 Sistema con galgas extensiométricas.....	19
2.3 Baterías.....	19
2.3.1 Tipo de baterías.....	20
2.3.2 Propiedades de las baterías.....	20
CAPÍTULO 3. SISTEMA DE RECONOCIMIENTO POR MEDIO DE UN SISTEMA DE INFERENCIA DIFUSA	
3.1 ¿Qué es un sistema de inferencia difusa?	22
3.1.1 Etapa de fusificación.....	22
3.1.2 Etapa de evaluación de reglas.....	23
3.1.3 Etapa de defusificación.....	24

3.2 Comparación general de sistemas difusos y las redes neuronales artificiales.....	24
3.3 ¿Por qué elegimos un sistema difuso para el trabajo terminal?	27
3.4 FIDE - software para desarrollar un sistema de inferencia difusa.....	28
3.4.1 Partes principales del software FIDE.....	29
CAPÍTULO 4. SISTEMA MÍNIMO EN MODO EXTENDIDO UTILIZANDO EL μC 68HC11E2	
4.1 El microcontrolador MC68HC11E2.....	31
4.1.1 Mapa de memoria.....	33
4.1.2 Modos de direccionamiento.....	34
4.1.3 Interrupciones.....	34
4.1.4 Instrucciones.....	34
4.1.5 Convertidor Analógico / Digital.....	35
4.2 Interfaz de señales analógicas al M68HC11.....	35
4.2.1 Intervalo de entrada y resolución.....	35
4.2.2 Puerto E del 68HC11.....	36
4.2.3 Registros del convertidor A/D.....	36
4.2.3.1 Registro del estado de control (ADCTI).....	36
4.2.3.2 Registros de resultados (ADR1 – ADR4).....	37
4.3 Sistema mínimo extendido utilizando el microcontrolador 68HC11E2.....	38
4.3.1 Los componentes básicos de un sistema mínimo.....	38
4.3.2 Función de los componentes de un sistema mínimo.....	39
4.3.3 Características de un sistema mínimo extendido.....	39
CAPÍTULO 5. SÍNTESIS DE VOZ	
5.1 Sistemas de texto a habla (text to speech).....	40
5.1.1 Mecanismos de síntesis para la producción de voz.....	40
5.1.1.1 Síntesis paramétrica.....	41
5.1.1.2 Síntesis articulatoria.....	41
5.1.1.3 Síntesis concatenativa.....	41
5.2 Sintetizadores de voz.....	43
5.3 Método utilizado para la generación de voz.....	43
PARTE 2: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA	
CAPÍTULO 6. GUANTE PARA LAS SEÑAS Y ETAPA DE ACONDICIONAMIENTO	
6.1 Diseño del guante.....	45
6.2 Elección del sistema sensor.....	46
6.3 Amplificadores de instrumentación.....	46
6.4 Diseño del circuito acondicionador.....	46
CAPÍTULO 7. DIGITALIZACIÓN DE SEÑALES Y RECONOCIMIENTO DE SEÑAS	
7.1 Adquisición de datos.....	50
7.1.1 Diagrama a bloques del algoritmo para realizar la conversión analógica – digital.....	50

7.2 Unidad de inferencia difusa aplicada al sistema traductor del lenguaje de señas a voz.....	51
7.2.1 Desarrollo en FIDE de la unidad de inferencia difusa para el Reconocimiento de señas.....	51
7.2.2 Entendimiento del sistema físico y de los requerimientos de la unidad.....	52
7.2.3 Diseño de un reconocedor de señas usando reglas difusas.....	53
7.2.4 Depurar, simular e implementar el diseño de la unidad.....	57
7.3 Sistema de inferencia difusa en el sistema mínimo en modo extendido.....	58
 CAPÍTULO 8. GENERACIÓN DE VOZ ARTIFICIAL	
8.1 Actividades desarrolladas para los sintetizadores de voz.....	59
8.2 Descripción General del V8600A.....	59
8.2.2 Descripción funcional del V8600A.....	61
8.2.3 Conexión.....	62
8.2.4 Pines.....	63
8.2.5 Manejo de Archivos.....	63
8.2.6 Comandos.....	63
8.3 Idioma Español.....	67
8.4 Valores Predeterminados.....	68
8.5 Generación de Voz con el Sintetizador de Voz.....	68
8.6 Modificación del diccionario Spanish.dix.....	73
8.7 Calidad de Voz del V8600A.....	73
 CAPÍTULO 9. MEJORA DEL SISTEMA UTILIZANDO UNA PANTALLA DE CRISTAL LÍQUIDO	
9.1 Pantalla de cristal líquido.....	74
9.2 Funcionamiento y características de la pantalla de cristal líquido.....	74
9.3 Mejora del sistema traductor de lenguaje señas a voz utilizando una pantalla de cristal líquido.....	75
9.4 Características de la pantalla de cristal líquido utilizada en el sistema.....	75
9.5 Implementación de la pantalla de cristal líquido al sistema traductor de lenguaje señas a voz.....	76
 PARTE 3: PRUEBAS Y RESULTADOS DEL SISTEMA	
 CAPÍTULO 10. RESPUESTA FINAL DEL SISTEMA	
10.1 Implementación de las baterías dentro del sistema.....	80
10.2 Circuitos impresos.....	81
10.3 Diagrama a bloques del programa en ensamblador.....	82
10.4 Características del sistema.....	83
10.5 Restricciones del sistema.....	83

CONCLUSIONES	84
PARTE 4: APÉNDICE	
A. GLOSARIO.....	86
B. ANEXO 1 Esquema eléctrico del sistema mínimo en modo extendido utilizando el μ C 68HC11.....	88
C. ANEXO 2 Diagrama General del Sistema.....	89
D. ANEXO 3 Letras y palabras que se reconocen y su tabla de valores.....	90
E. ANEXO 4 Sintetizador de voz V8600A.....	98
F. BIBLIOGRAFÍA.....	113

INTRODUCCIÓN

Debido a la importancia que tienen los sordomudos en nuestro país, sabemos que día con día, a pesar de su discapacidad ellos continúan superándose en todas las áreas y son un ejemplo a seguir. Ellos aprenden a leer los labios, son capaces de entender a las personas si se expresan en su mismo idioma. Socializan entre si por medio de señas; para una persona de audición normal, sin conocimiento en el lenguaje de las señas, le es difícil conversar con ellos.

El no poder darse a entender con las personas que si tienen la capacidad de hablar profundiza su marginación social, por lo que el proyecto que desarrollamos tiene la finalidad de integrar socialmente al sordomudo; nosotros como estudiantes de Ingeniería en Sistemas Computacionales nos corresponde desarrollar un sistema que ayude a la comunicación con los sordomudos. La tarea no es fácil, pero basta con pensar primero en su existencia, añadir un poco de voluntad cooperativa y establecer un canal para que se puedan expresar. Dicho de otra manera, construir el puente de entendimiento entre ambos mundos; el sonoro y el silente.

Por las razones anteriores nos ha interesado inclinarnos un poco al área de bioelectrónica y entonces diseñar un sistema portátil capaz de traducir el lenguaje de señas de los sordomudos de México al lenguaje de voz.

OBJETIVO

Crear un equipo portátil para aquellos individuos que carecen del habla, permitiendo a través de él, la comunicación con las demás personas; de manera general, estará constituido por un guante que se manipulará para formar las diferentes posiciones del lenguaje de señas, dicha posición será reconocida y posteriormente a través de una interfaz se emitirá el sonido correspondiente.

PARTE I:

Aspectos Teóricos y Análisis del Sistema



En la primera parte presentamos una investigación acerca de la importancia del desarrollo de este tipo de proyectos, así como la búsqueda de las mejores alternativas en cuanto a los sensores para el guante, el microcontrolador con el algoritmo o programa para el reconocimiento y los métodos de generar la voz.

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

A pesar de encontrarnos en el año transitorio al tercer milenio nos hemos dado cuenta que la situación de las personas con discapacidad del habla se encuentra aún a niveles de un subdesarrollo denigrante.

1.1 CAUSAS DE LA DISCAPACIDAD DE LOS SORDOMUDOS

Los seres humanos tenemos una enorme gama de capacidades, entre ellas se encuentra la capacidad de expresarnos por medio de sonidos y la capacidad de percibirlos, pero ambas se ven afectadas por diferentes enfermedades o trastornos que provienen de nacimiento o se adquieren a lo largo de la vida.

1.1.1 TRASTORNOS DEL HABLA

Existen diferentes trastornos del habla los cuales hacen referencia a trastornos en la mecánica articulatoria y/o rítmica de la palabra como unidad de la expresión verbal. Los principales tipos de trastornos son:

- **Dislalias:** Se manifiesta por la presencia de errores en la articulación de la palabra por función incorrecta de los órganos periféricos del habla sin que haya ningún tipo de lesión ni malformación de los mismos, a continuación se presentan los dos tipos de dislalias:
 - ♦ **Dislalia fonética:** El error de pronunciación persiste en la repetición de la palabra, sílaba o fonema.
 - ♦ **Dislalia fonológica o trastornos fonológicos:** El error en la articulación de la palabra, sílaba o fonema no se da en la repetición del mismo.
- **Diglosia:** Consiste en la dificultad de la producción oral debida a alteraciones anatómicas y/o fisiológicas de los órganos articulatorios. Su causa es de origen orgánico y periférico, no central, es decir, de los órganos de fonación o implicados en el habla, ejemplos: labio leporino, paladar escindido, macroglosia, nasalidad, etc.
- **Disfemia:** Consiste en un trastorno de la fluidez del habla que afecta principalmente al ritmo de la expresión verbal. Se muestra como una alteración del discurso, acompañada de otras manifestaciones que alteran la coordinación fono-respiratoria. No existe anomalía en los órganos de fonación. También llamada tartamudez.
- **Disprosodia:** Es la alteración en el ritmo de la palabra como consecuencia de una disminución o incremento grande en la velocidad del habla. Algunos autores la incluyen dentro de las disfemias.

- **Disartria:** Constituye un trastorno de la articulación de la palabra debido a alteraciones del control muscular de los órganos del habla, causado por lesiones del sistema nervioso central y/o periférico.

1.1.2 TRASTORNOS DE LA VOZ

Los trastornos de la voz no permiten la comunicación de una persona con otra, en forma de voz. Entre los trastornos más significativos están:

- **Disfonía:** Es la alteración de una o más de las características acústicas de la voz (timbre, tono e intensidad). El trastorno puede ser temporal o permanente.
- **Alteraciones Orgánicas:** Se debe a la disfunción de los músculos involucrados en la fonación, producen alteraciones anatómicas de las cuerdas vocales (nódulos, pólipos, quistes, úlceras, etc.).
- **Afonía:** Es la alteración máxima de la disfonía y todas las características de la voz, es decir, la pérdida total de la voz. Puede deberse a un proceso catarral leve o bien a un problema más serio como las lesiones precancerosas o cancerosas.

1.1.3 TRASTORNOS AUDITIVOS.

La mayoría de las personas que tienen discapacidad del habla, sufren trastornos auditivos (sordera), los cuales consisten en la pérdida o disminución del sentido auditivo. Se distinguen 4 tipos de sordera:

- **Por conducción:** Se produce por enfermedades u obstrucciones en el oído externo o medio y no suele ser grave; puede disminuirse la sordera con audífonos o puede corregirse con tratamiento médico o quirúrgico.
- **Por percepción:** Se debe a una lesión de las células sensitivas o de las terminaciones nerviosas del oído interno, puede ser desde una lesión leve hasta una lesión grave. La pérdida auditiva es mayor en unas frecuencias que en otras y queda distorsionada la percepción sonora aunque el sonido se amplifique. En este caso, los audífonos no son útiles.
- **Mixta:** Es causada por problemas tanto en el oído externo o medio como en el interno, se dice que es la unión de los dos tipos de sordera antes mencionados.
- **Central:** Se debe a la lesión del nervio auditivo (octavo par craneal) o de la corteza cerebral auditiva.

1.1.4 EDUCACIÓN Y ENTRENAMIENTO

Hasta el renacimiento se consideró a los sordos incapaces de aprender a hablar y de ser educados. A partir del siglo XVI, algunos filósofos y educadores empezaron a reconsiderar esta situación. El monje benedictino español Pedro de Ponce es considerado como el primer profesor de estudiantes sordomudos. En 1620 Juan Pablo Bonet, otro español, escribió el primer libro sobre la educación de los sordomudos. El libro contenía un alfabeto manual similar al utilizado en la actualidad. Durante el siglo XVIII se abrieron escuelas en Francia (abad Charles Michel de l'Épée) y Alemania (Samuel Heinicke). Desde esa época persiste el conflicto sobre si los niños sordomudos deben ser educados mediante procedimientos orales (lectura de labios y lenguaje, según l'Épée) o manuales (lenguaje manual y de signos, según Heinicke); cada escuela estudiaba también los métodos de la contraria.

La discapacidad del habla y auditiva no afecta a la capacidad intelectual del individuo ni a su habilidad para aprender. No obstante, un niño sordomudo pierde la estimulación lingüística de los niños normales y el retraso en el aprendizaje del lenguaje puede causarle retraso escolar. Este retraso tiende a ser acumulativo y el adolescente sordomudo puede llegar a sumar 4 o más años escolares de retraso. Pero si el niño sordomudo recibe una estimulación lingüística precoz mediante el lenguaje de signos tendrá un rendimiento escolar normal.

1.2 SISTEMAS DE COMUNICACIÓN

Cada vez más, la filosofía de la comunicación total se está utilizando en las escuelas para sordomudos. Esta filosofía estimula el uso combinado de todo tipo de métodos de comunicación apropiados para el niño sordomudo: lenguaje hablado, lectura de labios, lenguaje de signos, deletreo con los dedos, lenguaje Cued , expresiones artísticas, medios electrónicos, mimo, gestos, lectura y escritura.

El deletreo con los dedos es un sistema en el que la mano adopta formas y posturas correspondientes a la forma de las letras del alfabeto; se le llama “escribir en el aire”. El lenguaje de signos (LSM) se basa en gestos y reglas gramaticales que comparten puntos en común con el lenguaje escrito; los signos del LSM son equivalentes a palabras con significado concreto y abstracto. Varios sistemas de comunicación manual emplean el vocabulario de signos del LSM en combinación con otros movimientos manuales, para aproximarse a la sintaxis y la gramática del lenguaje verbal. El lenguaje Cued es un sistema en que 8 movimientos de la mano indican la pronunciación de cada sílaba hablada; sirve para suplementar a la lectura de labios.

1.2.1 EL LENGUAJE GESTUAL

Es un sistema organizado a base de gestos o signos empleado por personas que o bien no tienen una lengua común para comunicarse o están discapacitados física o psíquicamente para usar el lenguaje oral.

1.2.2 LENGUAJE SIGNADO

Los movimientos de las manos representan cada letra del alfabeto. El alfabeto es reconocido con facilidad por una persona sordomuda, en especial cuando se acompaña de gestos que significan palabras o ideas específicas, lo que le permite entablar una conversación con otras personas.

1.3 INSTITUCIONES DE AYUDA PARA SORDOMUDOS

La Escuela Nacional de Sordomudos se fundó en 1867 por el Presidente Benito Juárez creando uno de los pilares para nuestro país en el ámbito educativo. En 1967, el Presidente Gustavo Díaz Ordaz influido por una corriente mundial de oralistas cuya propuesta fundamental era desaparecer el lenguaje de señas y obligar a las personas sordomudas a aprender exclusivamente la lectura labio-facial como medio de comunicación con sus semejantes, tomó la decisión de cerrar la Escuela Nacional de Sordomudos y apoyar exclusivamente a los oralistas no importando la opinión de los sordomudos. Esto ha ocasionado que actualmente las personas sordomudas no tengan acceso a la educación digna de cualquier ser humano y su única oportunidad de sobrevivir es como vendedores ambulantes y obreros mal pagados.

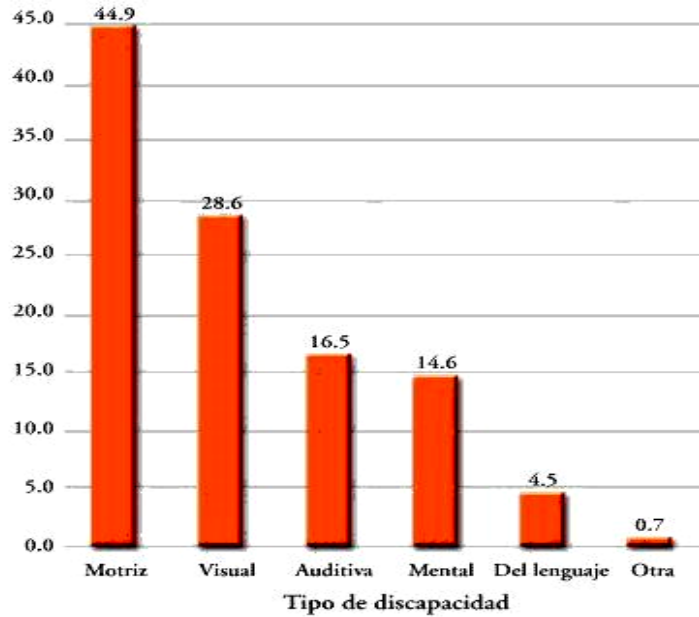
Debido a lo anterior, se creó una **Asociación de Sordomudos** en México con el fin de ver concretados sus sueños, de ser una comunidad de personas sordomudas educadas y de ser productivos socialmente. El objetivo de la Asociación es el de ofrecer a las personas sordomudas una educación en su propia lengua, las señas, para luego iniciar el aprendizaje de una segunda lengua, el español, y así iniciar el proceso de capacitación para el trabajo.

1.4 DISCAPACIDAD EN MÉXICO

La sociedad debe prestar atención a la población en condiciones de desventaja y, particularmente, a aquella que padece de discapacidad física o mental. En ese contexto, el INEGI ha iniciado la práctica de incorporar en los censos preguntas acerca de este segmento poblacional con la finalidad de generar información que coadyuve a un mayor conocimiento que permita su tratamiento, rehabilitación, e incorporación más plena a la vida social, cultural y económica del país.

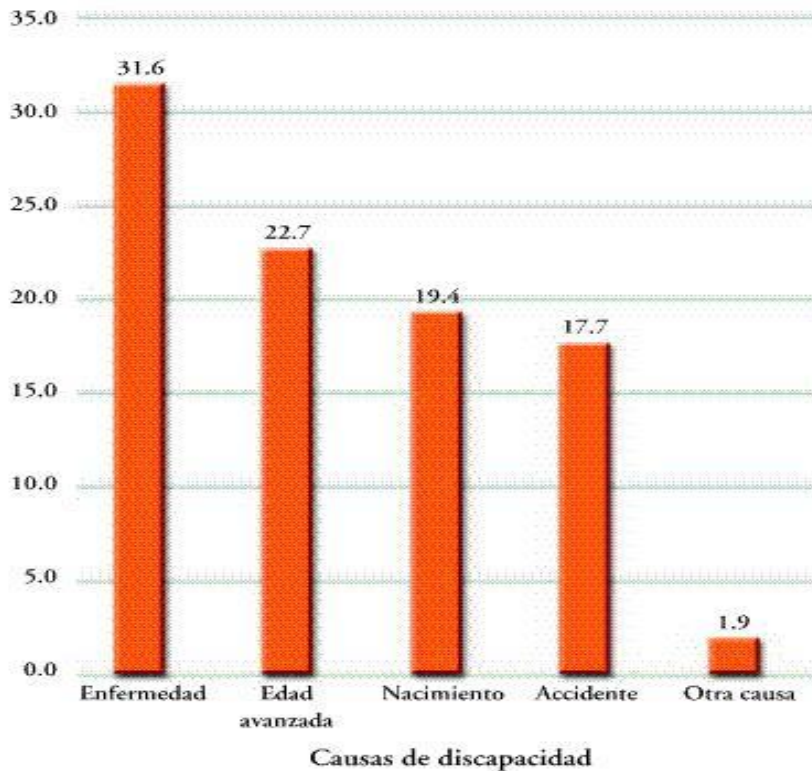
Así, sabemos que en México hay 2.2 millones de personas con algún tipo de discapacidad física o mental, o con un problema de salud de largo plazo que les impide realizar con plenitud algunas actividades que llevarían a cabo en condiciones normales.

Este volumen representa 2.3% de la población total del país. De la población con discapacidad, 44.9% presenta limitaciones relacionadas con sus brazos o piernas, 28.6% es invidente o sólo percibe sombras, 16.5% es sorda o escucha con ayuda de un aparato, 14.6% tiene algún retraso o deficiencia mental, 4.5% es muda, y el restante 0.7% presenta otra clase de discapacidad (Véase gráfica 1).



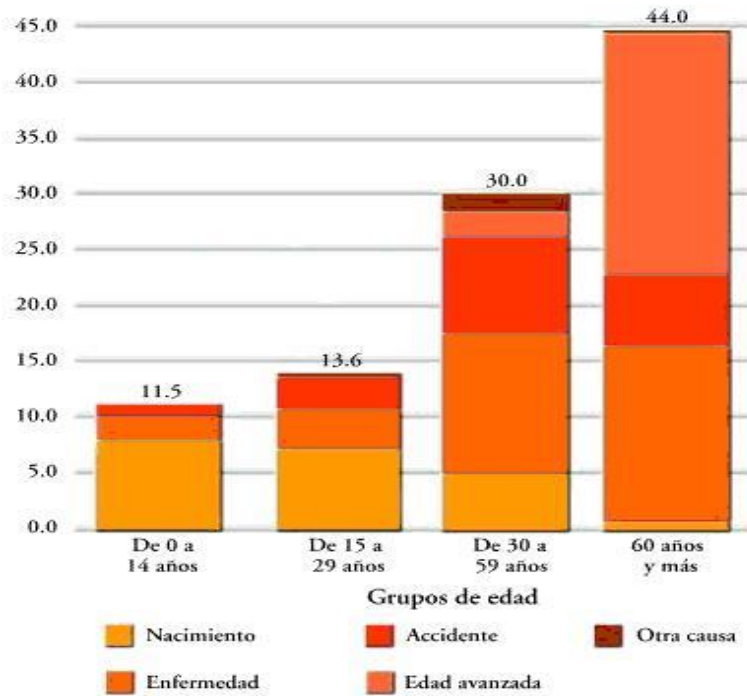
Gráfica 1

Las causas de la discapacidad son variadas. En un 31.6% se adquirió esta condición derivada de alguna enfermedad, 22.7% como consecuencia de problemas relacionados con la edad avanzada, 19.4% nació con ella, 17.7% como resultado de algún accidente y 1.9% debido a otras causas. (Véase gráfica 2)



Gráfica 2

Como resultado de las limitantes que se llevan desde el nacimiento se le agregan las adquiridas en el transcurso de la vida, a mayor edad, es más frecuente observar personas con algún tipo de discapacidad. En efecto, 11.5% de la población discapacitada tiene de 0 a 14 años; 13.6% de 15 a 29; 30% se ubica entre los 30 y 59 años, y 44% señaló tener 60 años o más. Esta distribución muestra que poco más de 43.6% de la población con discapacidad en el país se encuentra en edades económicamente activas, por lo cual se hace necesario facilitar los mecanismos tendientes a lograr su plena incorporación al mercado laboral a fin de elevar su autoestima y facilitarles su independencia económica. (Véase gráfica 3)



Gráfica 3

La población discapacitada en cada una de las entidades federativas no parece tener un patrón relacionado con sus condiciones sociales o culturales, ni con regiones específicas del país. De las entidades que tienen un mayor porcentaje de discapacitados respecto al total de su población, tres se encuentran en el sureste: Yucatán con 3.4%, Tabasco y Campeche con 3.1% cada una, y dos en el litoral del pacífico: Colima y Nayarit con poco más de 3% cada una.

En términos absolutos, son las entidades más pobladas y que se encuentran en el centro del país las que registran un mayor número de población residente discapacitada: Estado de México, Distrito Federal, Veracruz y Jalisco con un total de 764 mil discapacitados, volumen que supera a la población total de entidades como Colima, Baja California Sur y Campeche, consideradas de manera individual.

1.5 PROYECTOS QUE AYUDAN A LOS SORDOMUDOS A COMUNICARSE

A pesar de que el área de la bioelectrónica se ha descuidado un poco, hoy en día existen algunos productos comerciales para personas discapacitadas y algunos otros se encuentran en nivel de prototipo, desarrollados principalmente por instituciones de nivel superior y postgrado. Mas adelante se menciona de manera breve algunas de las alternativas que ya existen y otras que están en prototipo para las personas con problemas ya sea de oído y/o voz.

1.5.1 AUDÍFONO

Aparato electrónico para amplificar los sonidos en personas con defectos de audición. Los audífonos utilizan componentes similares a los de los sistemas de megafonía, pero miniaturizados. El sonido amplificado se dirige únicamente al oído del usuario por medio del audífono. Los componentes del audífono son: un micrófono, un amplificador (constituido por transistores y circuitos integrados), un receptor miniaturizado y las baterías, las cuales están dentro de un chasis o cubierta que se coloca detrás del pabellón auricular, en el interior del oído, o en las patillas de las gafas o lentes.

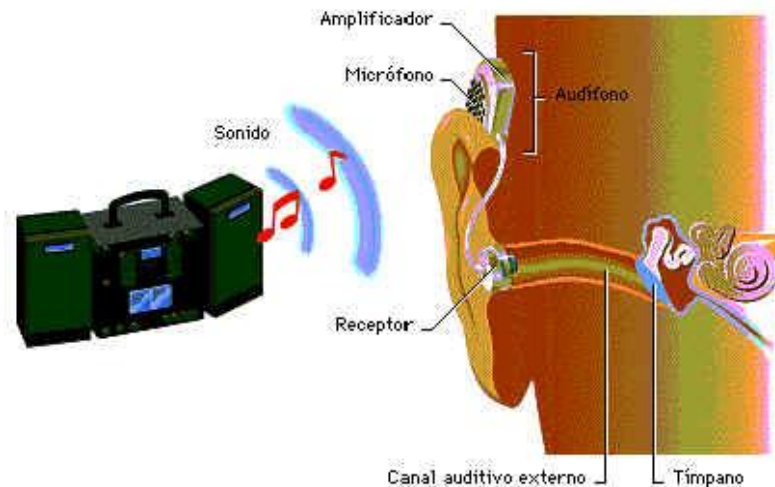


Figura 1.1 Esquema del Audífono

1.5.2 IMPLANTES

Existen implantes cocleares de reciente aparición que pueden emplearse en algunas personas con sordera profunda pero con un sistema nervioso auditivo indemne. El implante está constituido por unos electrodos que se insertan en la cóclea del oído interno para estimular al nervio auditivo, conectado a través del hueso mastoideo con un receptor que se implanta quirúrgicamente debajo de la piel.

Un micrófono situado cerca del oído envía señales a un microprocesador, que las transforma en impulsos eléctricos; éstos son enviados a un receptor situado detrás del oído, y desde allí al receptor y a los electrodos cocleares. Con los implantes cocleares sólo se consigue una basta reproducción de los sonidos reales, y no se ha conseguido la reproducción de la voz humana; son sobre todo una importante ayuda para leer los labios del interlocutor auditivo del oyente.

1.5.3 ALGUNOS DISPOSITIVOS PARA DISCAPACITADOS CREADOS POR ESTUDIANTES MEXICANOS DE INGENIERÍA

En México se está desarrollando tecnología para facilitar la vida de las personas con alguna discapacidad. En el departamento de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Piedras Negras, los estudiantes han desarrollado varios proyectos, entre ellos, un convertidor de sonido en vibraciones táctiles, un sistema que permite a los ciegos detectar obstáculos a distancia y orientarse mediante un auricular, un guante que convierte el lenguaje de señas en lenguaje auditivo, un adaptador telefónico que permite la comunicación de una persona con discapacidad auditiva y de lenguaje mediante el teléfono.

1.5.4 CLOSE CAPTION ON LINE

La tecnología Close Caption on Line implantada en la televisión a través de subtítulos opcionales en vivo. Esta tecnología permite que más de tres millones de personas con dificultades auditivas, puedan recibir la misma información que el resto de la comunidad con solo una opción del menú del control remoto del televisor. Es una herramienta de comunicación y educativa que promueve la real y amplia participación de sectores marginados, fortaleciendo los procesos de integración de la población limitada en su audición.

1.5.5 SIMON

SIMON capta las palabras habladas y las traduce en un lenguaje de signos. Gracias a la colaboración de diversas instituciones británicas, SIMON, un presentador virtual, traduce el lenguaje de los sordomudos a lo que dicen los locutores de televisión. El sistema ha ganado el premio a la innovación técnica. El personaje lee los subtítulos de los programas de televisión, un ordenador los traduce al lenguaje de los sordomudos y el personaje los reproduce, apareciendo en un rincón de la pantalla.

1.5.6 VIDEOTELÉFONO PARA SORDOS

Diversas compañías alemanas, entre las que se encuentra Siemens, han desarrollado un nuevo sistema de comunicación específicamente diseñado para sordomudos. El videoteléfono permite a los usuarios hacer sus pedidos a una operadora, que luego los transmitirá al destinatario final, a través del lenguaje de señas.

CAPÍTULO 2. GUANTES DE DATOS, SISTEMAS SENSORIOS Y BATERÍAS

2.1 GUANTES DE DATOS

Como sabemos hoy en día, uno de los accesorios más famosos para la *realidad virtual* es el *guante de datos*. El guante se utiliza para localizar la posición y la orientación de la mano y los dedos de las personas. Existen varios tipos de guantes comerciales, la principal diferencia que existe entre ellos es la forma de sentir los movimientos de la mano, así como el tipo de sensores que se utilizan.

Existe una gran variedad de guantes virtuales con diferentes aplicaciones hoy en día. A continuación mostramos algunas imágenes de guantes comerciales que se fabrican en Francia, para diferentes aplicaciones.

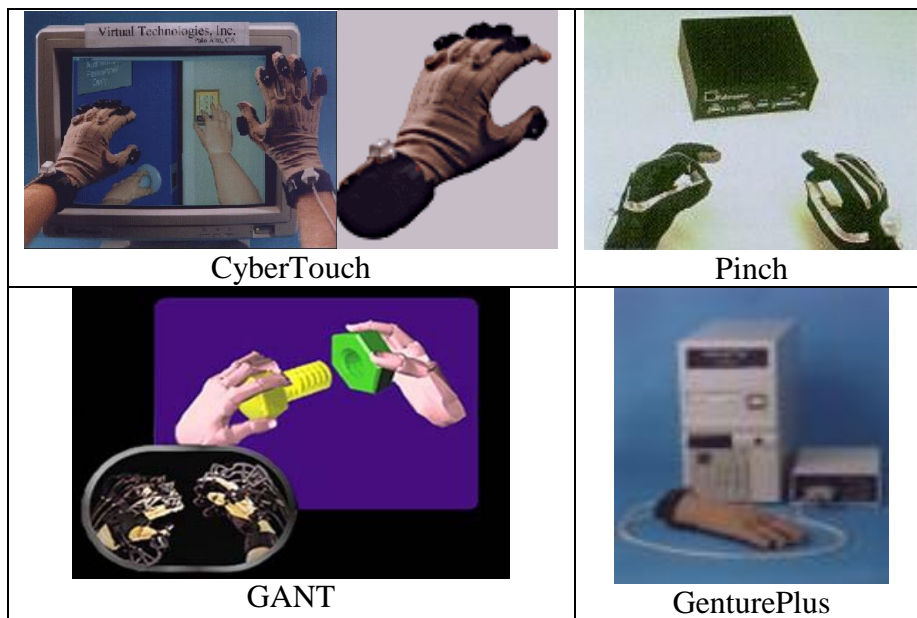


Figura 2.1 Guantes comerciales para diferentes aplicaciones.

Hay especialistas que desde principios de los años 90's han comenzado con el diseño de guantes e imágenes virtuales, permitiendo al cirujano reproducir exactamente sus movimientos en otro lugar del mundo. Este tipo de guantes tienen unas células especiales que imitan los movimientos en el robot, aunque también existen ya los cascos virtuales que pueden reproducir la visión del médico en otro lugar, no necesariamente en el robot sino en otro médico que tenga también colocado un casco virtual. Y si en lugar de colocar las células receptoras en los guantes se colocan en un traje, las sensaciones que el médico practique en otro lugar las va a sentir el colega que tiene puesto el traje.

2.2 SENSORES PARA EL DISEÑO DE GUANTES

Los guantes de datos están constituidos de diferentes sensores, según la aplicación que se les dé. Se realizó una investigación de los sensores más usados para la elaboración de guantes virtuales, entre los que encontramos los siguientes:

- Sistema electromecánico.
- Sistema con fibra óptica.
- Sistema con sensores de curvatura.
- Sistemas con galgas extensiométricas.

2.2.1 SISTEMA ELECTROMECAÁNICO

Consta principalmente de un exoesqueleto montado sobre la mano sujeto a través de los dedos. Los enlaces son tales que las articulaciones del exoesqueleto varían con las articulaciones de los dedos. Los sensores que contienen este dispositivo en sus articulaciones mecánicas miden el cambio de posición angular, requiriendo un proceso de calibración al inicio de cada jornada, es decir, cada vez que se vayan a utilizar, ya que la posición puede cambiar de acuerdo a cada usuario.



Figura 2.2 Sistema electromecánico.

2.2.2 SISTEMA CON FIBRA ÓPTICA

Esta tecnología usa un conductor de fibra óptica sobre cada dedo, un emisor que manda la luz y un fototransistor que mide la intensidad de luz que llega al otro extremo. En los extremos de las articulaciones de los dedos, la pared de la fibra es tal que ninguna luz se absorbe cuando la fibra está recta (sin doblarse), en cambio, cuando la fibra se dobla las cantidades de luz disminuyen. Normalmente las fibras ópticas se montan sobre un guante de licra, que ayuda a las fibras moverse libremente conforme a los movimientos de los dedos, la desventaja de este sistema es que requiere de calibración cada vez que se vaya a utilizar.

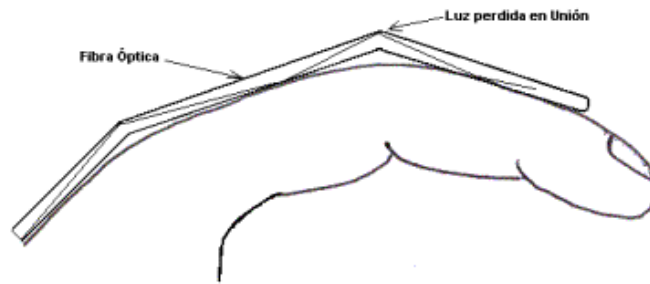


Figura 2.3 Sistema con fibra óptica.

2.2.3 SISTEMA CON SENSORES DE CURVATURA

Estos sensores constan de un substrato con una capa doble de tinta conductora que consiste de lotes de partículas de carbón; los sensores se colocan encima de cada dedo. Cuando el dedo dobla el substrato, la longitud de la superficie aumenta, esparciéndose las partículas de carbón provocando un aumento en la resistencia del sensor. Si el sensor se dobla en dirección opuesta entonces las partículas de carbón se juntan, reduciendo la resistencia del sensor. El cambio de resistencia es mucho mayor que en las galgas extensiométricas, pero la interfaz requerida es muy parecida a la del puente de Wheatstone.

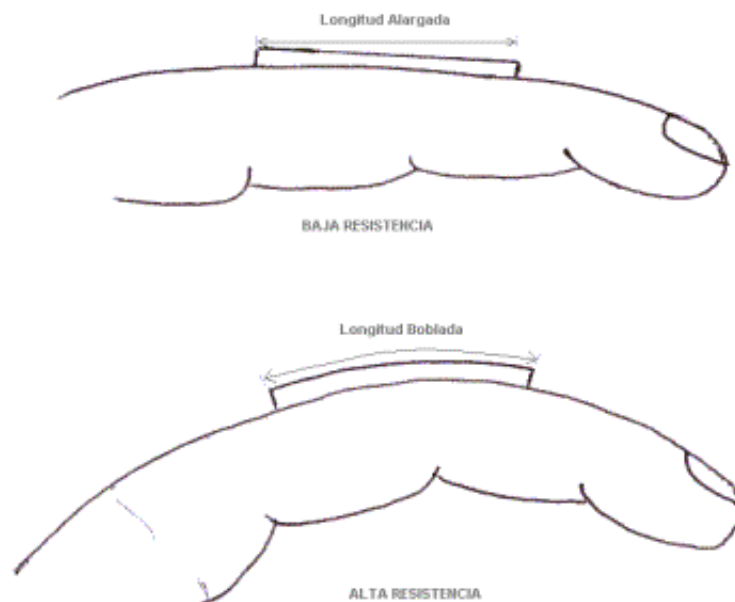


Figura 2.4 Sistema con sensores de curvatura.

2.2.4 SISTEMA CON GALGAS EXTENSIOMÉTRICAS

Los sensores de presión o galgas extensiométricas están basados en la variación de la resistencia eléctrica cuando se deforman. Estos sensores también se utilizan en combinación con otras piezas para detectar de forma indirecta esfuerzos pero en definitiva suelen usarse más como sensores de deformación.



Figura 2.5 Galga Extensiométrica.

En las galgas extensiométricas, por medio de un arreglo como el puente de Wheatstone, se puede medir una variación en voltaje, claro que este voltaje es muy pequeño, se encuentra en el orden de milivoltios, por que necesita una etapa de amplificación para que fuera más visible. Este sensor, sólo se puede flexionar hacia un sentido y su respuesta es un aumento en el valor de su resistencia.

2.3 BATERÍAS

Debido a que nuestro sistema es portátil, es importante conocer sobre los tipos de baterías existentes así como sus características. A continuación se muestra una explicación de las mismas.

Una batería es esencialmente una recipiente lleno de químicos que producen electrones por medio de reacciones químicas, a este fenómeno se le llama reacción electroquímica. La resistencia interna de la batería regula la velocidad de la producción de electrones generada por esta reacción y de esta forma se controla cuántos electrones pueden pasar por las terminales.

Los electrones pasan de la batería al cable, y deben viajar de la terminal negativa a la positiva para que la reacción química se lleve a cabo. Es por eso que una batería puede guardarse por un año y todavía conserva su energía plenamente, a menos que los electrones corran hacia la terminal positiva, la reacción química no se efectuará. Una vez que se conecte el cable, la reacción química empieza.

Si se examina una batería, ésta tiene dos terminales. Una terminal está marcada con un signo positivo (+), mientras la otra está marcada con un signo negativo (-), por ejemplo en una batería común de tipo A, AA o C cada extremo es una terminal, otro ejemplo son las baterías de auto en las cuales existen dos grandes tubos que actúan de terminales.

2.3.1 TIPO DE BATERÍAS

Las baterías modernas utilizan una variedad de químicos para generar sus reacciones electroquímicas de las más comunes se incluyen:

- Baterías de Zinc: También conocidas como baterías estándar de carbón, en la que los electrodos son de zinc y carbón y se tiene una unión ácida entre ellas como electrolito. Se utiliza en cualquier batería de tipo A, AA, C, o afín a este tipo.
- Baterías alcalinas: Los electrodos son de zinc y óxido de manganeso con un electrolito alcalino.
- Batería de níquel-cadmio: Utiliza el hidróxido de níquel y electrodos de cadmio con hidróxido de potasio como electrolito. Fue de las primeras baterías en ser recargable, pero sufre de descarga rápidamente.
- Hidruro de níquel-metal: Recargable. Reemplazó rápido al níquel-cadmio porque no se descarga rápidamente.
- Ion-litio. Recargable. Presenta un buen porcentaje de desempeño, se utiliza en las PC's portátiles y teléfonos celulares.
- Ácido-Plomo: Recargable. Utilizadas en aplicaciones, alarmas, juguetes, etc. Presentan gran desempeño y larga vida.

2.3.2 PROPIEDADES DE LAS BATERÍAS

Normalmente las baterías se agrupan en serie para obtener altos voltajes o en paralelo para altas corrientes. La figura 2.6 muestra este tipo de arreglos.

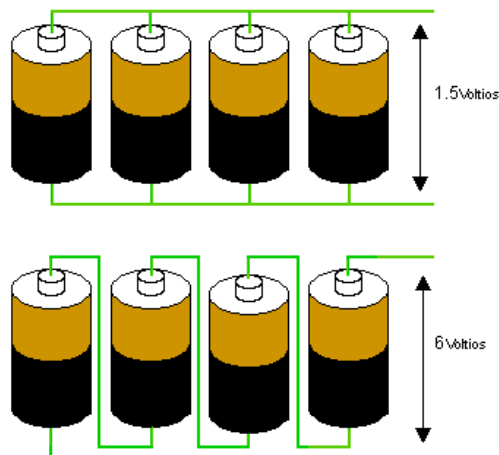


Figura 2.6. Arreglo de Baterías.

El arreglo de la parte superior de la figura 2.6 es llamado en **paralelo**. Si asume que cada celda produce 1.5 voltios, entonces 4 baterías en paralelo también producirán 1.5 voltios pero la corriente será cuatro veces mayor. El arreglo de la parte inferior de la figura 2.6 es llamado en **serie**, si los cuatro voltajes se suman producen 6 voltios, un ejemplo de esto son las pilas de 9 volts, mostrada en la figura 2.7 las cuales contienen 6 baterías muy pequeñas que producen 1.5 voltios en un arreglo en serie.



Figura 2.7 Batería de 9 volts.

Normalmente cuando se adquieren baterías, el grabado que presentan dice la corriente y el voltaje de la misma, por ejemplo, una cámara digital utiliza 4 baterías níquel-cadmio que producen 1.25 voltios y 650 miliamperios / hora por cada celda. En general, se puede calcular una escala de miliamperios / hora linealmente, es decir la batería puede producir 325 miliamperios por dos horas o 1300 miliamperios por media hora, por otro lado, si se colocan cuatro de esas baterías en serie se puede obtener 5 voltios (1.25×4) a 650 miliamperios / hora o si coloca esas baterías en paralelo se puede obtener 1.25 voltios a 2600 (650×4) miliamperios / hora. Por lo anterior es fácil determinar cuanto tiempo, aproximadamente, durará una batería a determinada exigencia.

CAPÍTULO 3. SISTEMA DE RECONOCIMIENTO POR MEDIO DE SISTEMA DE INFERENCIA DIFUSA

3.1 ¿QUÉ ES UN SISTEMA DE INFERENCIA DIFUSA?

Un sistema de inferencia difusa es la conjunción de varias unidades de operación (variables de entrada y salida), una o varias unidades difusas y una unidad de ejecución, basándose en conceptos de la teoría de conjuntos difusos, en reglas difusas del tipo *sí - entonces* y en el razonamiento difuso.

Su función primordial es la de entregar a la salida una respuesta en relación a la o las entradas que se le presentan de acuerdo a las reglas que se tienen establecidas y a los métodos que se utilicen para fusificar, evaluar las reglas y defusificar las entradas y salidas del sistema respectivamente.

Los tres componentes conceptuales de un sistema de inferencia difusa son: una **base de reglas**, la cual contiene una selección de reglas difusas; una **base de datos** (o diccionario), en la que se definen las funciones de membresía usadas en las reglas difusas; y un **mecanismo de razonamiento**, que se encarga de ejecutar el procedimiento de inferencia sobre las reglas y los hechos dados para derivar una salida razonable o conclusión.

A continuación se ilustra las partes principales en un sistema de inferencia difusa:

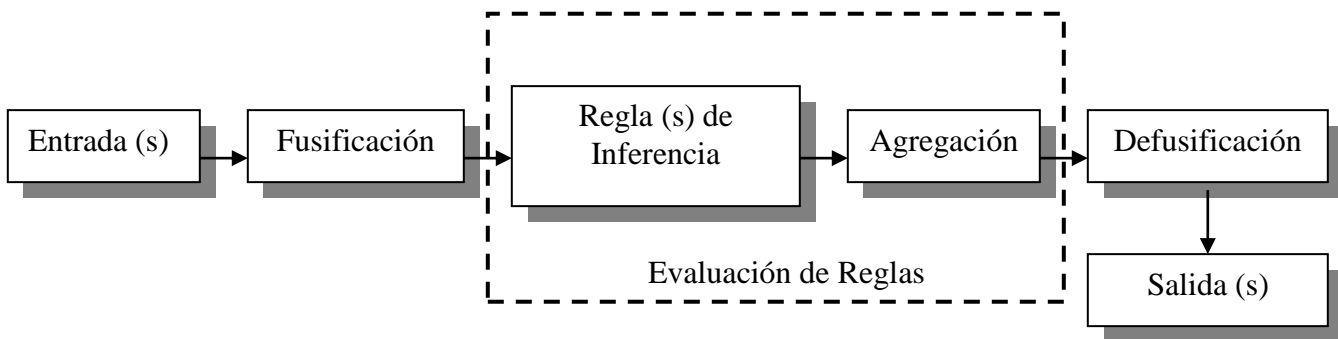


Figura 3.1 Diagrama a bloques para un sistema de inferencia difusa.

3.1.1 ETAPA DE FUSIFICACIÓN

La fusificación es el proceso de asignar o calcular un valor que represente un grado de membresía (o valor subjetivo) para todos los conjuntos difusos definidos sobre alguna variable de entrada, dado que el estado actual de dicha variable se toma como una cantidad no difusa.

Después de la etapa de fusificación, se dejara de reconocer a la variable por sus variables numéricos y por su denominación dimensional, y entonces se reconocerá como una variable difusa (por ejemplo, una temperatura de 10 grados centígrados, será en términos no difusos $T = 10^\circ \text{C}$, pero la temperatura en términos difusos se reconocerá, como que la temperatura es 0.7 baja y a la vez es 0.3 regular)

3.1.2 ETAPA DE EVALUACIÓN DE REGLAS

Es la etapa "inteligente" de un sistema de inferencia difusa, ya que posee la capacidad de imitar la forma humana en la toma de decisiones, basada en conceptos difusos y en la forma de inferir acciones de control difusas, empleando las reglas de inferencia de la lógica difusa.

Esta etapa, realiza la evaluación de las reglas difusas que están contenidas en la base de reglas, en espera de lograr una meta determinada. La combinación de operadores que se utilice en la implementación de los planos de inferencia determina el método de inferencia utilizado.

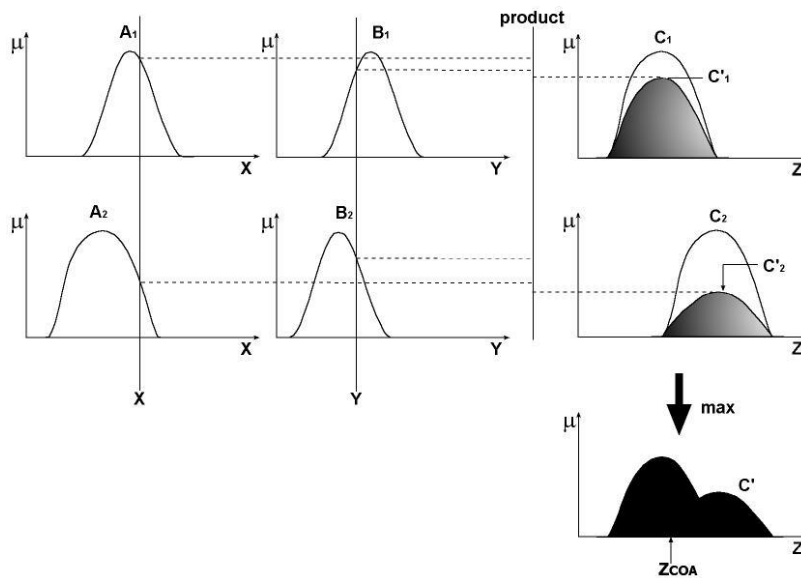


Figura 3.2 Sistema de inferencia difusa de Mamdani usando producto y max como operadores norma-T y conorma-T, respectivamente.

Los sistemas de inferencia difusas implementados en sistemas mínimos generalmente utilizan alguno de estos dos métodos de inferencia propuestos por Mamdani, con la definición de conjuntos de tipo Z, S, Lambda, Trapezoidal y Singleton en las variables de salida del sistema difuso.

Debido a que la variable de salida no puede tomar conjuntos difusos como entradas, se tiene que usar un defusificador para convertir un conjunto difuso a un valor exacto por lo que la etapa final recibe las salidas difusas provenientes de la etapa de evaluación de reglas entregando una salida exacta a la variable externa, terminando el ciclo del sistema de inferencia difusa. A continuación se presenta la etapa de defusificación.

3.1.3 ETAPA DE DEFUSIFICACIÓN

La defusificación es la fase final de un sistema de inferencia difusa. La etapa de defusificación parte de un conjunto de funciones de membresía definidas sobre alguna variable de salida de una unidad de inferencia difusa, y están truncadas en altura por el último plano de inferencia, como resultado de haber evaluado a todas las reglas correspondientes a cada conjunto difuso de salida. Estos conjuntos truncados representan una respuesta o conclusión difusa, de la cual se debe derivar un valor escalar que represente la respuesta del sistema, utilizando un método de defusificación.

Existen diferentes métodos usados para derivar el valor esperado exacto de una variable de salida del sistema, a partir de una región difusa en el consecuente. El proceso de defusificación es una parte importante en los sistemas difusos ya que provee una parte de la simetría requerida entre los conjuntos difusos y los valores escalares.

Los algoritmos de defusificación tienen un compromiso entre la necesidad de encontrar un solo punto resultante y la pérdida de información tal como lo requiere un proceso.

La idea tras la defusificación involucra encontrar el impulso difuso o valor escalar que mejor represente la estructura compuesta del espacio difuso final. Los dos métodos de defusificación más frecuentemente usados son: **el método del centroide** (o centro de gravedad) y **el método por altura máxima**.

Estos sistemas han encontrado aplicaciones exitosas en una amplia variedad de campos, tal como el control automático, la clasificación de datos, los análisis de decisión, los sistemas expertos, la aplicación de series de tiempo, robótica, y el reconocimiento de patrones.

3.2 COMPARACIÓN GENERAL DE SISTEMAS DIFUSOS Y LAS REDES NEURONALES ARTIFICIALES

Los sistemas difusos y las redes neuronales artificiales son tecnologías complementarias en el diseño de sistemas inteligentes. Cada método tiene sus pros y sus contras. Las redes neuronales esencialmente son estructuras computacionales de bajo nivel y poseen algoritmos que ofrecen un buen comportamiento con los datos de entrada, mientras que las técnicas de los sistemas difusos con frecuencia responden bien a conceptos como el razonamiento en un nivel mayor que las redes neuronales artificiales.

Los sistemas difusos y las redes neuronales artificiales son estimadores numéricos de modelos libres y sistemas dinámicos. Estos comparten la habilidad de mejorar la inteligencia de los sistemas que trabajan con incertidumbre, imprecisión, y ruido ambiental.

Los sistemas difusos y las redes neuronales artificiales presentan ventajas sobre la estimación estadística tradicional y el control adaptativo (función estimación). Ellos estiman una función sin requerir una descripción matemática de cómo depende funcionalmente la salida de la entrada; esto es, ellos aprenden de ejemplos numéricos.

Las aproximaciones difusas y neuronales son numéricas en esencia y pueden ser procesadas usando herramientas matemáticas o pueden ser parcialmente descritas con teoremas, además admiten un algoritmo de caracterización que favorece la implementación en circuitos integrados.

Estas cualidades distinguen a los sistemas difusos y a las redes neuronales artificiales del procesamiento simbólico aproximado de la inteligencia artificial (IA), sobre todo por que ambos sistemas y sus técnicas han sido aplicados exitosamente a una variedad de sistemas del mundo real y en dispositivos.

Los sistemas difusos y las redes neuronales artificiales difieren en la forma en que:

- Estiman las funciones.
- Representan y almacenan las muestras.
- Representan y codifican el conocimiento estructurado.
- Tratan la inferencia asociativa y los mapas de entradas y salidas.

Las redes neuronales artificiales tienen un número de elementos de procesamiento (neuronas) altamente interconectados, los cuales demuestran la habilidad para aprender y generalizar a partir de patrones o datos de entrenamiento.

Los sistemas difusos basan sus decisiones en entradas (con forma de variables lingüísticas) derivadas de funciones de membresía, las cuales son fórmulas usadas para determinar el conjunto difuso al cual pertenece un valor y el grado de membresía en ese conjunto.

Las variables son empalmadas con los antecedentes de las reglas lingüísticas por medio de sentencias Si – Entonces (reglas de lógica difusa), y la respuesta de dicha regla se obtiene a través de la implicación difusa.

Básicamente, los sistemas difusos estiman funciones con muestras de conjuntos difusos, mientras que las redes neuronales artificiales usan muestras de puntos numéricos.

Las **redes neuronales artificiales** son **sistemas dinámicos de entrenamiento** cuyo aprendizaje, tolerancia a ruidos y generalización de habilidades surgen de sus conexiones estructurales, de su dinámica y de su representación de datos distribuidos.

Sin embargo, no pueden codificar directamente un conocimiento estructurado, es decir, es difícil para nosotros codificar directamente reglas de sentido común “Si – Entonces” en una red neuronal artificial; en lugar de eso, debemos presentarle a la red suficientes conjuntos de entrenamiento entrada – salida para que tenga un aprendizaje.

Además, debido a que las capas internas de la red neuronal siempre están ocultas al diseñador o usuario, es difícil determinar la estructura y el tamaño de la red.

Las redes neuronales artificiales tienen estructuras libres y modelos completamente distribuidos, la distributividad de sus cálculos contribuye a su capacidad de aprendizaje profundo ya que sus elementos individuales de procesamiento de la red son capaces de ajustar sus conexiones para llevar a cabo el mejor mapeo posible para un dado conjunto de objetos de entrenamiento.

Mientras la distributividad computacional mejora el aprendizaje, también hace casi imposible que se presenten una interpretación razonable de toda la estructura de la red en términos de estructuras lógicas tales como declaraciones Si - Entonces.

Los sistemas difusos son estimadores numéricos estructurados. Toman en cuenta la psicología de la clasificación y la estructura de las categorías que se encuentran en el mundo real, para después articular las reglas difusas como parte del conocimiento experto. Sin embargo, los sistemas difusos encuentran diferentes dificultades tales como: ¿Cómo determinar las reglas lógicas difusas y las funciones de membresía?

De manera general los sistemas difusos y las redes neuronales artificiales generalmente aproximan el diseño de sistemas inteligentes desde ángulos muy diferentes. Las redes neuronales son esencialmente de bajo nivel, presentan algoritmos de cálculo que algunas veces ofrecen una ejecución buena de acuerdo con los datos del sensor usado pero los sistemas difusos proveen, además, una estructura que utiliza y aprovecha las capacidades que tienen las redes neuronales artificiales por lo que facilita la comprensión y solución del problema.

En los últimos años se ha visto un rápido incremento en el número y variedad de aplicaciones de los sistemas difusos y las redes neuronales artificiales. Sus espectros de aplicaciones, residen en productos de consumo electrónico, control de procesos industriales, instrumentación médica, industria automotriz, sistemas de apoyo en toma de decisiones, etc.

El uso de los sistemas expertos difusos, es de gran importancia para el diseño de sistemas “inteligentes” con programación en lenguaje natural, capaces de trabajar en ambientes donde se presente información inconsistente, incompleta, o donde sea difícil aplicar modelos matemáticos.

3.3 ¿PORQUÉ ELEGIMOS UN SISTEMA DIFUSO PARA EL TRABAJO TERMINAL?

Hasta ahora se entiende que las redes neuronales artificiales y los sistemas difusos pueden ser usados apropiadamente cuando uno o más de las variables de estado son continuos y cuando el modelo matemático de los procesos no existe o existe pero es demasiado difícil de codificar o es demasiado complejo para ser evaluado fácilmente o lo suficientemente rápido para operar en tiempo real.

La sencillez de los sistemas difusos consiste en que codifican directamente la estructura del conocimiento en un campo numérico flexible y lo procesan de tal manera que se asemeja al procesamiento de una red neuronal artificial. Sin embargo, a diferencia de la aproximación de la red neuronal artificial, el sistema difuso solo requiere llenar parcialmente una matriz de reglas lingüísticas (filas para los predicados de entrada y columnas para los predicados de salida). Esta tarea es más simple que diseñar y entrenar una red neuronal artificial.

Cabe mencionar que una de las aplicaciones que tienen los sistemas difusos y las redes neuronales artificiales es el reconocimiento de patrones, el cual se apega a las necesidades que tiene el sistema traductor del lenguaje de señas a voz para el reconocimiento de las señas.

A continuación se muestran las ventajas que proporcionan los sistemas difusos sobre las redes neuronales artificiales para el caso del sistema que desarrollamos.

- **Facilidad en el diseño del sistema.**
En el diseño de los sistemas difusos, solo es necesario entender y caracterizar el comportamiento del sistema utilizando nuestra experiencia y conocimiento, para después generar las reglas difusas que rigen el comportamiento del sistema; a diferencia de las redes neuronales artificiales que utilizamos anteriormente, en las que se tiene que ver cuántas neuronas se van a utilizar para un buen reconocimiento de la seña, generar la estructura para determinar el número de entradas y salidas que debe tener el sistema, establecer el tipo de aprendizaje a utilizar para entrenar la red y separar las fronteras de decisión de los objetivos.
- **Reducción del tiempo en el desarrollo del sistema.**
Para desarrollar un sistema difuso solo es necesario identificar las variables de entrada y salida, establecer los conjuntos difusos para cada una de ellas y generar las reglas difusas. Posteriormente se debe probar el sistema y en caso de tener fallas en el reconocimiento de la seña, solo es necesario modificar las reglas difusas. En el caso de las redes neuronales artificiales, se utiliza un programa que tarda aproximadamente de 10 a 20 minutos para entrenar la red y después se obtienen los valores de los pesos y umbrales. Por último, se trasladan a un programa que se debe desarrollar de acuerdo a la estructura establecida de la red, se realizan pruebas y en caso de tener fallas en el reconocimiento de la seña, es necesario volver a la etapa de entrenamiento y esto lo hace más tardado.

- **No necesita el sistema tanta precisión para reconocer la seña.**
En los sistemas difusos solo se definen conjuntos difusos en los que se tiene un cierto grado de membresía y, dependiendo de las reglas, se genera el valor final utilizando métodos de inferencia que no requieren cálculos tan precisos para realizar su función, que en este caso es reconocer la seña realizada. En cambio, las redes neuronales artificiales necesitan más precisión, ya que cada operación que se realiza en cada neurona afecta el desempeño de las siguientes neuronas a las que está conectada y un error mínimo en un cálculo puede significar un valor erróneo a la salida y por lo tanto no reconocer la seña de forma correcta.
- **Portabilidad para utilizar las unidades de inferencia difusa en microcontroladores de la familia Motorola.**
Existe un programa de desarrollo de sistemas de inferencia difusa que tiene la capacidad de generar el código en lenguaje ensamblador para varios microcontroladores de la familia Motorola, haciendo portátil el sistema, por lo que se elimina la necesidad de emplear una computadora.
- **Utiliza menos código para generar el sistema.**
Las redes neuronales artificiales se componen de varias neuronas en cada capa, con sus respectivos pesos y funciones de transferencia, por lo que se necesita memoria para tener cada uno de estos elementos dentro del programa. Si el cálculo de la salida de cada una de las neuronas no necesitase mucha precisión, la memoria utilizada sería poca, pero la realidad es otra, ya que cada neurona necesita de mucha precisión en el cálculo de su salida para no afectar el desempeño de la red neuronal artificial, por lo que el código aumenta bastante y puede llegar a ocupar toda la memoria del sistema, teóricamente.

En contraste, los sistemas difusos ocupan menos memoria en su implementación ya que solo tienen una base de datos en la que se define cada uno de los conjuntos de las variables de entrada por medio de puntos, por lo que se ocupa poca memoria, además una base de reglas que definen el comportamiento del sistema ante un evento y un mecanismo de razonamiento el cual, mediante operaciones lógicas y aritméticas, se encarga de unir ambas bases y generar un valor a la salida dependiendo de la seña formada.

3.4 FIDE - SOFTWARE PARA DESARROLLAR UN SISTEMA DE INFERENCIA DIFUSA

FIDE (Fuzzy Inference Develment Enviroment) es un software empleado para desarrollar desde unidades de inferencia difusa hasta sistemas de inferencia difusa, fue desarrollado por APRONIX en San José California y, en general permite:

- a) Modelar las estrategias de toma de decisiones humanas utilizando FIL (lenguaje de inferencia difusa).

- b) El empleo de herramientas depuradoras, con las que el usuario puede modificar el código fuente generado en FIL.
- c) Generar el código en lenguaje ensamblador para varios microcontroladores de la familia Motorola.
- d) La versión de FIDE utilizada es la 2.0, la cual corre cualquier microprocesador de 8 bits o mayores; sin embargo, el compilador de FIDE está creado para 8 bits, por lo que todas las funciones las realiza en base a este tamaño de palabra.

3.4.1 PARTES PRINCIPALES DEL SOFTWARE FIDE

Editor. FIDE contiene un editor de texto para crear y contener archivos fuente. El principio de operación es seleccionar o crear un texto y entonces actuar sobre ese objeto. El objeto puede ser un archivo de texto o un bloque de caracteres dentro del archivo. FIDE contiene las herramientas para crear y manipular textos. El sistema de menús de FIDE proporciona acceso a todas las herramientas disponibles para diseñar y desarrollar unidades y sistemas de inferencia difusa.

Compilador. FIDE compila las declaraciones fuente en código objeto. El código objeto, comprendiendo archivos múltiples, es utilizado por FIDE para otras funciones dentro del mismo.

Depurador. El comando depurar inicializa un conjunto de herramientas para lograr descubrir los errores lógicos y de diseño no captados al momento de compilar el archivo fuente. Estas herramientas proporcionan un medio intuitivo de visualizar y modelar las unidades de inferencia difusa que transforman entradas a salidas en el intervalo de la aplicación. Dichas herramientas pueden ser utilizadas también para analizar y afinar el diseño final esto es, verificar la validez, la optimización, el análisis de estabilidad y proyectar la viabilidad.

Generador de código de tiempo real. FIDE provee compatibilidad directa con los microcontroladores fabricados por Motorola. Esta es realizada convirtiendo la salida objeto del compilador de FIDE en código ensamblador estándar para los microcontroladores de Motorola. Los seis dispositivos soportados por FIDE en su versión 2.0 son:

- MC6805
- MC68HC05
- MC68HC08
- MC68HC11
- MC68HC16
- MC6833X

Cabe mencionar que además de la compatibilidad con los microcontroladores de Motorola ya mencionados, FIDE también tiene compatibilidad con el lenguaje de programación ANSI C y con el simulador MATLAB.

Compositor. El compositor es la función enlazadora de FIDE. Usando las herramientas del compositor, las unidades de inferencia difusa, operación y ejecución son conectadas en un solo sistema. El compositor también soporta características para analizar y depurar el sistema. Una vez depurado, se pueden generar librerías en C y un código ejecutable representando al sistema difuso.

CAPÍTULO 4. SISTEMA MÍNIMO EN MODO EXTENDIDO UTILIZANDO EL μ C 68HC11E2

4.1 EL MICROCONTROLADOR MC68HC11E2

El microcontrolador MC68HC11E3 que utilizamos es muy parecido al MC68HC11E9 con la diferencia de que la memoria ROM está deshabilitada del microcontrolador, es decir, no contiene el Buffalo dentro de la memoria, sino que el Buffalo hay que cargarlo dentro de la memoria ROM externa que tiene y, desde ahí, se puede descargar al microcontrolador, los programas, desde la computadora. Las características generales del microcontrolador son:

1. 12K bytes de memoria de solo lectura (ROM),
2. 512 bytes de memoria EEPROM,
3. 512 bytes de memoria RAM.

Es posible guardar cualquier programa en la ROM y ejecutarlo desde la memoria (siendo independiente de la computadora). Además tiene las siguientes características:

1. Convertidor analógico-digital,
2. Comunicación síncrona y asíncrona,
3. Unidades de tiempo (timer),
4. Puertos de propósito general para lectura/escritura.

En la siguiente figura se muestra el diagrama interno del MC68HC11E2:

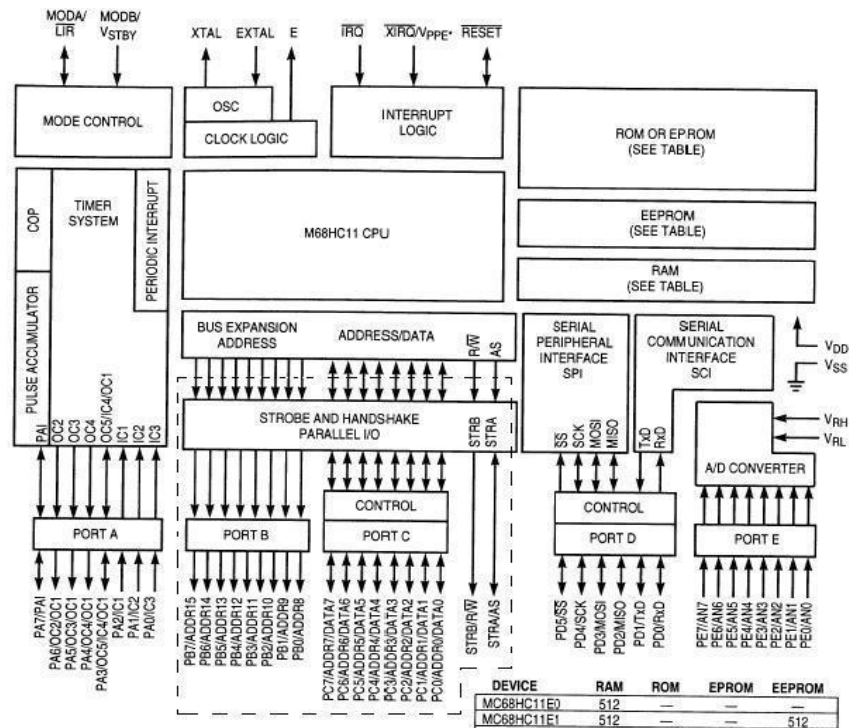


Figura 4.1 Diagrama a Bloques del Microcontrolador MC68HC11 series - E

El recuadro punteado en la parte inferior del diagrama muestra un subsistema paralelo de entrada / salida. Cuando el microcontrolador opera en modo extendido, como es nuestro caso, las funciones de este subsistema se sustituyen por un dispositivo distinto (PRU Port Replacement Unit). La ventaja de utilizar el microcontrolador en modo extendido es que una memoria EEPROM y una RAM pueden conectarse al microcontrolador y permitir mayor capacidad de memoria, tanto RAM como ROM. El monitor (Buffalo) está guardado en una parte de la memoria EEPROM de 32k y además se tiene una memoria RAM de 32 KB que sirve para guardar temporalmente los programas. Si el sistema mínimo no se encuentra en modo extendido, el usuario estaría limitado a una memoria EEPROM de 512 bytes que no es suficiente para almacenar programas extensos.

En modo extendido, el microcontrolador puede acceder a los 64 KBs de direcciones. La expansión del bus se realiza por medio de los puertos B y C, y los pines de control AS y R/W. Las líneas de datos de los puertos B y C se convierten en líneas de direcciones extras y demultiplexadas, las cuales permiten que se puedan manejar más bits de datos, como lo muestra la figura 4.2; en la cuál se observa la manera en que los pines AS, R/W y E, controlan la demultiplexión de los puertos B y C, permitiendo que se coloquen más líneas de dirección, en las que se direcciona la memoria RAM y ROM externas al integrado. [Esquema del Sistema Mínimo Extendido utilizando el MC68HC11, Ver Anexo 1].

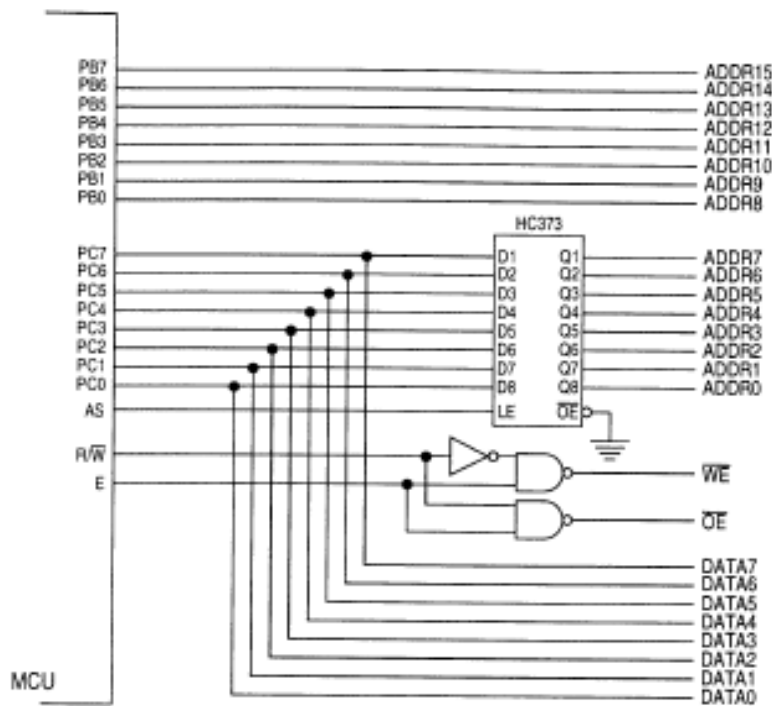


Figura 4.2 Demultiplexado de Datos / Direcciones utilizando los puertos B y C.

4.1.1 MAPA DE MEMORIA

La CPU es el cerebro electrónico de una computadora, en particular, el CPU de un microcontrolador es llamado el microprocesador. Como se observa en la figura 4.1, existe un bloque llamado CPU, y como cualquier otro CPU, esta es la sección que codifica instrucciones, realiza operaciones matemáticas y lógicas, presenta bifurcaciones, registros, y circuitos de control.

Todos los registros externos al CPU están asociados a operaciones de entrada /salida o a la unidad de tiempo. Estos registros son parte del microcontrolador o del PRU y están diseccionados por el CPU. Esto significa que los registros se localizan por medio de su dirección y son monitoreados por el CPU como localidades de memoria; por lo tanto, no se requieren instrucciones especiales para leer o escribir datos en estos registros. La técnica de tener registros de entrada / salida diseccionados como localidades de memoria se conoce como **mapeo de memoria de entrada / salida**. En la figura 4.3 se observa el mapa de memoria que maneja el modo extendido del MC68HC11.

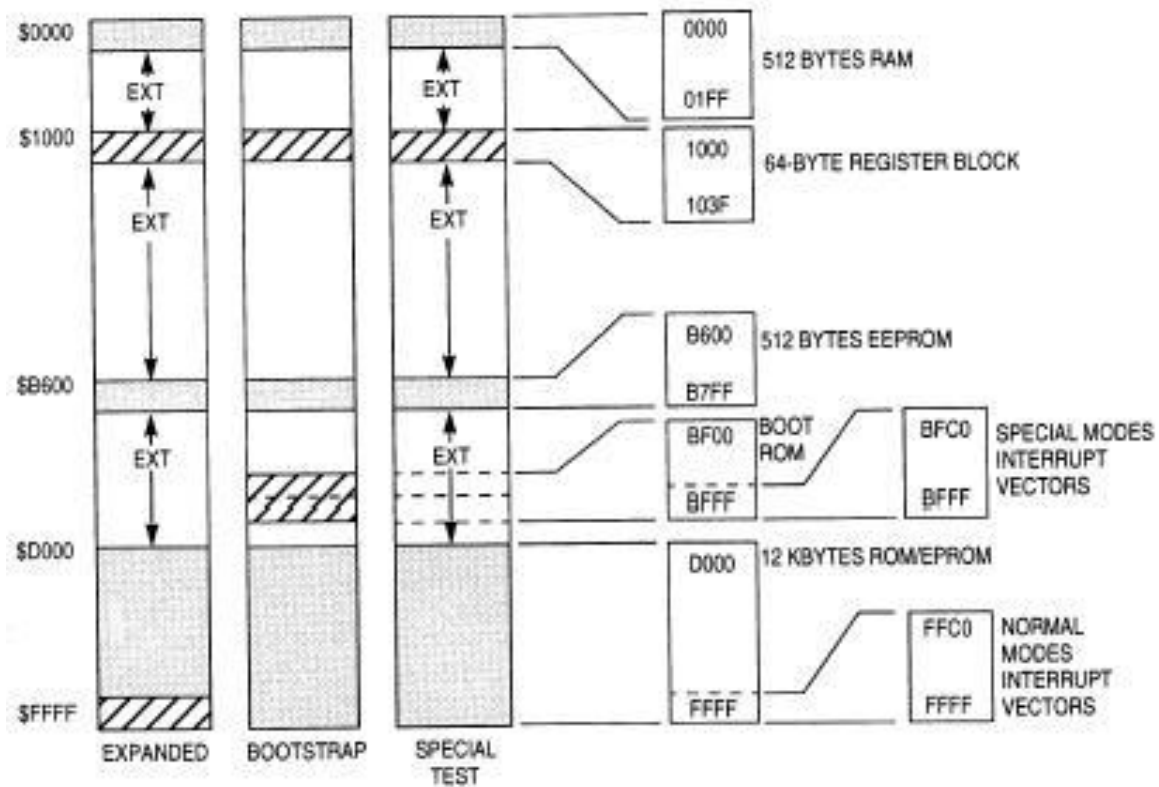


Figura 4.3. Mapa de memoria para el M68HC11E1

4.1.2 MODOS DE DIRECCIONAMIENTO

El MC68HC11 tiene 6 modos de direccionamiento, los cuales son:

- Inmediato.
- Extendido.
- Directo.
- Inherente.
- Relativo.
- Indexado.

Excepto por el inmediato y el inherente, cada uno de los modos de direccionamiento generan un doble byte de dirección efectiva. La dirección efectiva es donde el dato se almacena.

4.1.3 INTERRUPCIONES

EL CPU del microcontrolador ejecuta las instrucciones de forma secuencial. Por lo que muchas aplicaciones requieren ejecutar otros programas o subprogramas en respuesta a peticiones de los periféricos. Las peticiones son llamadas interrupciones y pueden ocurrir en cualquier momento. Dependiendo del tipo de interrupción y el estado lógico del bit del registro de control, el CPU puede suspender su operación normal y atender la interrupción. Si un servicio de interrupción es finalizado, la CPU usualmente regresa al programa original y regresa los valores de los registros anteriores como si no hubiese ocurrido ninguna interrupción.

4.1.4 INSTRUCCIONES

El MC68HC11 contiene dos registros índices de 16 bits, instrucciones para manipular bits, instrucciones de multiplicar y existen instrucciones que permiten al CPU desarrollar operaciones aritméticas de 16 bits. Los distintos tipos de instrucciones que maneja el CPU del MC68HC11 son las siguientes:

- Movimiento de datos.
- Aritméticas.
- Multiplicar y dividir.
- Operaciones lógicas.
- Prueba y manipulación de bits.
- Rotación y Desplazamiento de bits.
- Bifurcaciones.
- Saltos.
- Llamado a subrutinas y regreso.
- Apuntador de pila y Registro Índice.
- Manejo de Interrupciones.

4.1.5 CONVERTIDOR ANALÓGICO / DIGITAL

El convertidor analógico - digital, utiliza una conversión de aproximaciones sucesivas, usando una técnica de redistribución de las cargas de los capacitores para convertir las señales analógicas en valores digitales. El convertidor tiene 8 canales con una resolución de 8 bits. El convertidor no requiere de dispositivos externos para comenzar a trabajar. El tiempo del convertidor A/D puede ser sincronizado al reloj interno, o a un oscilador externo que tenga el sistema.

4.2 INTERFAZ DE SEÑALES ANALÓGICAS AL MC68HC11

4.2.1 INTERVALO DE ENTRADA Y RESOLUCIÓN

Dos especificaciones básicas para un convertidor analógico / digital son el intervalo analógico de entrada y su resolución. El intervalo para un voltaje de entrada en un microcontrolador 68HC11 es de 0 a 5.12v. Las características del ADC interno del microcontrolador son:

1. 8 salidas digitales como se muestra en la figura 4.4:

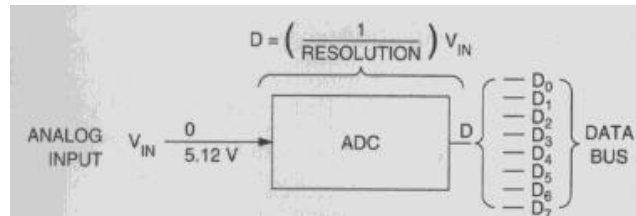


Figura 4.4 Diagrama a bloques de un convertidor de 8 bits.

2. La resolución es de 8 bits, por lo tanto se tiene 2^8 o 256 salidas con valor binario del 00000000_b al 11111111_b . La resolución también nos da una medida de precisión. En la figura 4.5 se muestra gráficamente el ejemplo de un convertidor con una salida de 3 bits. Esto muestra que se necesita 1 voltio en la entrada analógica, para que cambie un bit en la salida digital.

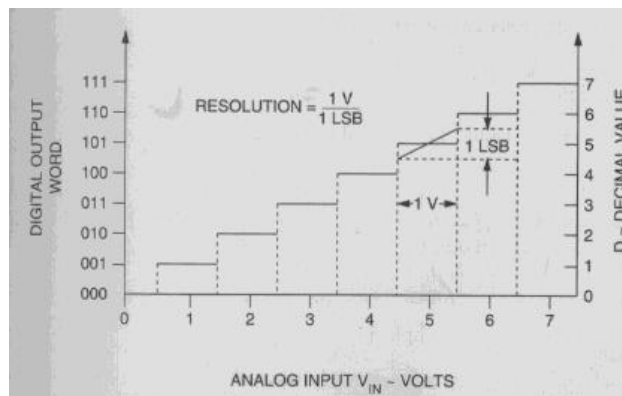


Figura 4.5 Código de la salida digital contra voltaje de entrada analógico para un convertidor de 3 bits (resolución de un voltio por bit).

Para poder evaluar la resolución necesitamos de la siguiente formula:

$$\text{Resolución} = \text{Intervalo analógico de entrada} / 2^n,$$

donde 'n' es el número de bits que se tiene de resolución y depende del microcontrolador que se utilice.

Debido a la fórmula, la resolución del convertidor ADC del MC68HC11, teniendo en cuenta que es de 8 bits de resolución y tiene un intervalo de entrada de 0 a 5.12v, es la siguiente:

$$\text{Resolución} = 5.12\text{v} / 2^8 = 20\text{mV} / 1 \text{ bit}.$$

Esto significa que por cada variación de 20 mV en la entrada analógica, existe un cambio en la salida en un bit.

4.2.2 PUERTO E DEL MC68HC11

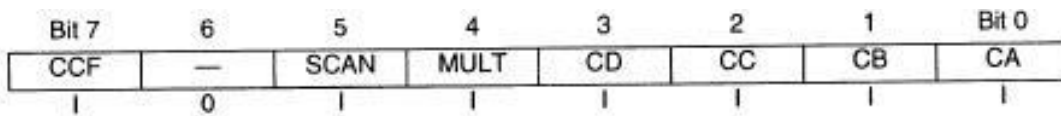
El puerto E es un puerto de 8 pines de entrada y pueden ser usados como canales de entrada de propósito general para niveles lógicos y/o para señales de voltajes analógicos. Por lo que podemos utilizarlo para introducir 8 señales analógicas al microcontrolador y, por medio de un programa, convertirlas a valores digitales.

4.2.3 REGISTROS DEL CONVERTIDOR ANALÓGICO / DIGITAL

Los registros de control no sirven para programar la dirección que deban tener los canales de entrada (los pines del puerto E son siempre entradas) por lo que, los registros solo sirven para manipular el puerto.

4.2.3.1 REGISTRO DEL ESTADO DE CONTROL (ADCTL)

El registro ADCTL está en la localidad \$1030 del mapa de memoria, los bits del 0 al 5 son los bits de control y pueden ser de lectura o escritura, el bit 6 no se utiliza y siempre se lee como un 0 lógico, el bit 7 solo puede ser de lectura. A continuación se describe la función de cada uno de ellos:



Bit 7 .- conversión completa (CCF).- Es un indicador de solo lectura, este bit se pone en uno lógico después de que el convertidor A/D completa la cuarta conversión y los resultados son almacenado en los registros. Este bit se limpia cada vez que se escribe en el registro ADCTL y cuando se termina de escribir en este registro, comenzando automáticamente la conversión de la señal analógica.

Bit 5.- Control de Escaneo (SCAN).- Este bit permite al programador escoger entre una conversión sencilla y una secuencia continua. Cuando el bit SCAN está en 0 lógico, el convertidor está en modo de realizar conversiones sencillas. Y cuando el bit está en ‘1’ lógico, el convertidor convierte continuamente, es decir, se actualizan continuamente los registros de resultado, pues la conversión se realiza en ciclos.

Bit 4.- Control de canales (MULT).- Este bit del registro es utilizado para seleccionar entre un canal de conversión o una conversión en cuatro canales. Cuando el bit está en ‘0’ lógico, la conversión de un solo canal está seleccionada. El convertidor selecciona un canal de entrada y realiza 4 conversiones consecutivas colocando los datos en los registros de resultados. La primera conversión va a la dirección ADR1, la segunda conversión va a ADR2, y así sucesivamente. Cuando el bit está en ‘1’ lógico, el convertidor realiza una conversión sencilla en cada canal del grupo seleccionado dependiendo de los bits CD, CC. La siguiente tabla muestra que grupo se selecciona cuando el bit 4 está en ‘1’ lógico.

Channel Select Control Bits	Channel Signal	Result in ADRx if MULT = 1
CD:CC:CB:CA		
0000	AN0	ADR1
0001	AN1	ADR2
0010	AN2	ADR3
0011	AN3	ADR4
0100	AN4	ADR1
0101	AN5	ADR2
0110	AN6	ADR3
0111	AN7	ADR4
10XX	Reserved	—
1100	V_{RH}^1	ADR1
1101	V_{RL}^1	ADR2
1110	$(V_{RH})/2^1$	ADR3
1111	Reserved ¹	ADR4

Bits 3 – 0.- Selección de Canales (CD, CC, CB, CA).- Los cuatro bits seleccionan el canal o canales que utilizará el convertidor A/D. Teniendo la combinación de 4 bits el microcontrolador tiene la posibilidad de multiplexar 16 posibles canales, pero el usuario solo tiene acceso a 8 canales (PE0 – PE7).

4.2.3.2 REGISTROS DE RESULTADOS (ADR1 – ADR4)

Los resultados de la conversión analógica – digital son guardados en registros que van de la dirección \$1031 a la dirección \$1034. Estos registros son de solo lectura y almacenan el resultado con una resolución de 8 bits. En cada lectura nueva del convertidor A/D, los registros se actualizan con los nuevos valores de conversión.

4.3 SISTEMA MÍNIMO EXTENDIDO UTILIZANDO EL MICROCONTROLADOR 68HC11E2

Un sistema mínimo es la conjunción de un microprocesador, memoria (RAM y ROM) y periféricos de entrada y salida, sus características principales son: obtener información de los periféricos, procesar la información y enviar a la salida una respuesta que en la mayoría de los sistemas resuelve la necesidad dada. El término “Extendido” simplemente se refiere a un aumento en la memoria que se tiene, ya que por naturaleza un microcontrolador es un sistema mínimo debido a que contiene los componentes básicos. El aumento de memoria puede ser de tipo RAM o ROM. A continuación se presenta de manera más detallada cada uno de los componentes que integran un sistema mínimo y su función de forma extendida.

4.3.1 LOS COMPONENTES BÁSICOS DE UN SISTEMA MÍNIMO.

Un sistema mínimo se compone de tres partes:

- Microprocesador.
- Memoria.
- Unidades de E/S.

A continuación se muestra el esquema general de un sistema mínimo.

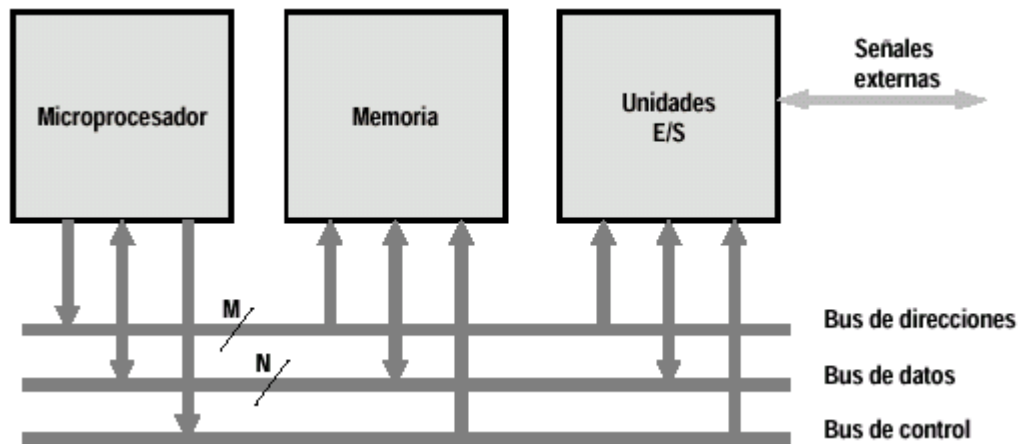


Figura 4.1 Esquema general de un sistema mínimo.

Se puede observar en la figura 4.1 que las tres partes que componen al sistema mínimo están interconectados entre sí por medio de un bus de datos, un bus de direcciones y un bus de control, donde M es el número de líneas de dirección dando un total de 2^M posiciones o direcciones de memoria distintas y N es el número de líneas de datos, es decir se transmiten N bits de datos en forma paralela.

4.3.2 FUNCIÓN DE LOS COMPONENTES DE UN SISTEMA MÍNIMO

Microprocesador:

- Control de los buses y de todas las transferencias de datos.
- Lectura de los programas.
- Operaciones con los datos (aritméticas y lógicas).

Memoria:

- Almacenamiento de los datos (RAM).
- Almacenamiento de los programas (RAM ó ROM).

Unidades Entrada / Salida:

- Interfaz con el exterior.

Buses de:

- Direcciones: Selecciona dirección origen o destino. Bus unidireccional salvo en sistemas multiprocesador o multimaster.
- Datos: Realiza la transferencia del dato. Bus bidireccional.
- Control: reloj, reset, lectura / escritura, interrupción, etc. Bus heterogéneo.

4.3.3 CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA MÍNIMO EXTENDIDO

La característica principal de un sistema mínimo extendido es tener la capacidad de almacenar programas y / o datos más extensos. El sistema reconocedor de señas es un programa bastante extenso, por dos situaciones: en primer lugar se necesita almacenar los datos del diccionario que se introducen al Sintetizador para que este emita voz con reglas del idioma español, en segundo lugar se necesita almacenar el programa que genera FIDE. Ambos contextos necesitan de considerable memoria la cual es proporcionada por el sistema mínimo extendido.

CAPÍTULO 5. SÍNTESIS DE VOZ

La Síntesis de Voz es el proceso de generar voz a partir de texto, es decir, es una emulación del proceso del habla producido por el humano a través de las cuerdas vocales y que tiene una amplia variedad de aplicaciones.

Existen diferentes métodos para la síntesis de voz y cada uno de ellos se utiliza en diferentes ambientes de trabajo siendo éste el primer factor a determinar cuando se desarrolla un sistema de síntesis de habla. Entre otros factores a tomar en cuenta para el desarrollo de tales sistemas también se encuentra el costo de beneficio-perdida existente entre la flexibilidad y calidad de voz que se requiere.

Si lo que se pretende obtener es un muy buen desempeño en una aplicación, por ejemplo, interactuar a través del sistema en específico, como los sistemas de reservación de vuelo o de pronóstico de la temperatura de manera rápida y concisa, el dominio de información debe ser muy concreto y poco flexible para que la voz sea de alta calidad; pues aquí se trata de restringir un poco al usuario para que no pueda referirse a elementos que están fuera de la base de datos.

Si se necesita algo que funcione de manera general, como los sistemas de lectura de correo o de traducción automática de textos, entonces se debe ser más flexible y por lo tanto se permite que la calidad de la voz no sea tan buena aunque, por supuesto, lo más deseable siempre será una voz de alta calidad.

En seguida explicamos dos de los métodos más ampliamente utilizados para la generación de voz artificial, los *Sistemas de Texto a Habla* y los *Sintetizadores de Voz*.

5.1 SISTEMAS DE TEXTO A HABLA (TEXT TO SPEECH)

La síntesis de voz realizada a través de los Sistemas de Texto a Habla o TtS (Text to Speech), son sistemas que transforman texto introducido ya sea por algún operador o capturado por otro medio como OCR (Optical Code Register) en sonidos que podemos reconocer como voz. La síntesis de voz es un proceso que se facilita más en algunos lenguajes porque existen reglas bien estructuradas o porque no existen tantas variaciones en sus fonemas.

5.1.1 MECANISMOS DE SÍNTESIS PARA LA PRODUCCIÓN DE VOZ

Existen diferentes tipos de enfoques para la producción de voz a través de los sistemas de texto a habla, entre ellos se encuentran los que manejan la síntesis paramétrica, la síntesis articulatoria y la síntesis concatenativa.

5.1.1.1 SÍNTESIS PARAMÉTRICA

Emula la onda sonora que es producida por la voz humana copiando los patrones de sus formantes que son las líneas y picos de energía que pueden apreciarse en un espectrograma.

Las resonancias entre el tracto oral y nasal no son mezcladas, pero cambian debido al movimiento de los órganos articulatorios de la voz. Para una posición en particular de estos órganos articulatorios, el primer formante es conocido como frecuencia fundamental (f_1), el siguiente formante es denominado (f_2) y así sucesivamente.

La frecuencia fundamental es el identificador entre persona y persona, pues varía dependiendo del modo, énfasis y tono que una persona da a sus frases; sin embargo es la magnitud y relación de las frecuencias de formantes la que posibilita que una voz pueda ser identificable.

5.1.1.2 SÍNTESIS ARTICULATORIA

Este tipo de síntesis se basa en los mecanismos naturales de la voz, utilizando parámetros como: el tamaño de la cavidad oral, la tráquea, la posición de la lengua, etc. Las palabras y frases que los humanos generan son analizadas de acuerdo al modelo de producción del habla y se almacenan sus valores característicos, (fuente, envolvente espectral, etc.) como secuencias en el tiempo.

Almacenar la información de esta manera reditúa en algunas ventajas ya que se reduce la cantidad de información y los parámetros que almacena, además es capaz de controlar el ritmo y la entonación del habla; sin embargo puede afectar la naturalidad de la voz y por lo tanto disminuir su calidad en un sistema.

En términos prácticos, no existen aplicaciones comerciales de este tipo porque la mayoría de experimentos que se han desarrollado para probar esta técnica, son muy especializados o muy costosos como para comercializarse.

5.1.1.3 SÍNTESIS CONCATENATIVA

La síntesis concatenativa la técnica que ofrece mejores resultados y trabaja pegando unidades digitalizadas de voz, por ejemplo, fonemas, difonemas, sílabas, etc.

Los segmentos de voz que se utilizan en este tipo de síntesis, se almacenan a partir de grabaciones hechas por algún locutor con el propósito de conservar las propiedades fonológicas de los segmentos. El sintetizador elige los elementos que deben de participar en la concatenación de acuerdo a la transcripción fonética realizada previamente y luego los concatena.

Como ya se mencionó, las unidades que participan en la concatenación pueden ser de diferentes tamaños veamos algunas de estas:

- Concatenación a partir de fonemas. Los fonemas, son unidades naturales que dotan de gran flexibilidad a los sistemas de voz y que resultan económicas desde el punto de vista del número de unidades (en el Español existen 23 fonemas: 18 consonantes y 5 vocales) sin embargo, constituyen una unidad abstracta que está sometida a muchas variaciones contextuales, que originan una mala calidad en la voz porque la pronunciación deja mucho que desear.
- Concatenación a partir de difonemas. Los difonemas son unidades que consideran algún tipo de coarticulación ya sea a partir del contexto que se encuentra a su izquierda o a su derecha. Consisten en la unión de dos fonemas y específicamente, de la unión de la parte estable de un fonema (mitad del fonema) con la parte estable del siguiente fonema. Existen 23^2 posibles difonemas producto de la combinación de las 23 unidades manejadas en nuestro vocabulario, esto no representa una desventaja; lo que sí nos afecta es que los difonemas todavía no son una unidad tan natural como se quisiera.
- Concatenación a partir de trifenemas. Este tipo de concatenación es de mejor calidad porque está considerando las coarticulaciones que se generan a partir de los contextos izquierdos y derechos, realmente lo que se requiere a la hora de realizar la selección de este tipo de unidades, es la mitad del primer fonema, el segundo fonema completo y la mitad del tercer elemento. Aunque su uso proporciona más naturalidad al sistema, no todas las frases pueden ser representadas mediante esta metodología, por lo que hay que recurrir a los fonemas o difonemas para completar una palabra. También existe otro tipo de inconveniente que tiene que ver con la existencia de 23^3 posibles combinaciones para cada fonema.
- Concatenación de sílabas. La calidad de la voz generada que se obtiene a partir de la concatenación de sílabas es mucho mejor que las anteriores ya que a través de las sílabas se pueden manejar diferentes longitudes en la coarticulación. Se hace uso de fonemas, difonemas y trifenemas pero las unidades pueden ser más grandes y por lo tanto más completas.

El problema de manejar este tipo de concatenación es que hay muchos tipos diferentes de sílabas y un número ilimitado de ellas; pero si se pueden localizar estas unidades en una base de datos entonces es muy factible generar un sistema de calidad aceptable.

- Concatenación de palabras. Es el tipo de concatenación de más alto nivel y donde se puede obtener la mayor naturalidad de voz posible; a pesar de esto, esta técnica está totalmente restringida al número de elementos que se encuentren almacenados en el vocabulario contenido en una base de datos.

5.2 SINTETIZADORES DE VOZ

Los sintetizadores de voz son dispositivos capaces de producir habla humana artificialmente. Estos dispositivos de hardware se presentan en versiones para instalarse internamente en el computador o como periféricos externos y pueden usarse con una amplia variedad de software lector de pantalla.

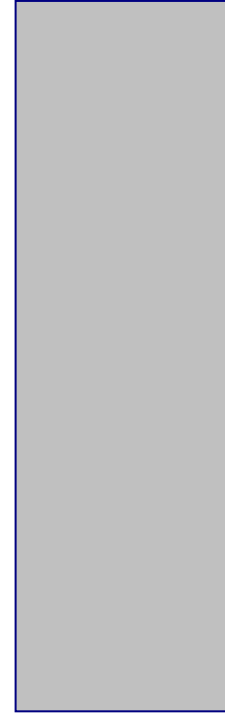
Entre algunas de sus características usuales están las de poder elegir entre voces de timbre femenino o masculino, ajustar el tono y la velocidad de pronunciación y escoger entre varios idiomas. El uso de algunos sintetizadores conjuntamente con ciertas aplicaciones, permite el acceso a información en pantalla en otros formatos además del ASCII, como es el caso de los procesadores de palabras, menús de opciones en ventanas y ayudas contextuales.

5.3 MÉTODO UTILIZADO PARA LA GENERACIÓN DE VOZ

Cada uno de los métodos de generación de voz trabaja mejor en diferentes ambientes; los sistemas de texto a habla funcionan mejor en aplicaciones que tienen recursos disponibles como por ejemplo memoria disponible para el almacenamiento de unidades lingüísticas en archivos de sonido. Los sintetizadores de voz pueden utilizarse como periféricos externos por lo que son más útiles cuando, por ejemplo, se va a desarrollar un sistema portátil como en nuestro caso.

A pesar de esto, en el proyecto se utilizaron ambos métodos de generación de voz artificial, teníamos la obligación de analizar las ventajas y desventajas de cada uno de ellos. Inicialmente se trabajó en la computadora donde teníamos recursos disponibles por lo que utilizamos primero los Sistemas de Texto a Habla y, debido a que no obtuvimos resultados aceptables en lo referente a la generación de voz, posteriormente utilizamos un Sintetizador de Voz que nos ofreció mejores resultados. Además, el objetivo del proyecto era desarrollar un sistema portátil que es un ambiente de trabajo donde los sintetizadores de voz son de gran ayuda.

PARTE II:



Diseño e Implementación del Sistema



Esta es la parte más importante del proyecto, de acuerdo a un análisis detallado, se eligieron las mejores opciones para el diseño de cada una de las etapas que está constituido el sistema. Asimismo, explicamos las razones por las que elegimos tales alternativas.

CAPÍTULO 6. GUANTE PARA LAS SEÑAS Y ETAPA DE ACONDICIONAMIENTO

6.1 DISEÑO DEL GUANTE

El guante está constituido de tela de licra para que no sea muy estorboso y al mismo tiempo se moldee a la mano. Existe una capa de tela en la parte de arriba del guante para cubrir los sensores (galgas extensiométricas). El guante está constituido de 7 sensores, uno en cada dedo, uno en la muñeca y el último en el codo. Para el codo se utiliza una banda que se puede ajustar para brazos de diferente longitud, como se puede apreciar en la siguiente figura.



Figura 6.1 Guante para el reconocimiento de señas.

Se diseñó el guante para la mano derecha debido a que los sordomudos pueden formar la mayoría de las palabras con ella y, además, con la mano derecha pueden formar todas las señas del alfabeto y entonces construir sus propios mensajes deletreándolos.

Por medio de un control constituido de tres botones y un interruptor, el usuario puede manejar el sistema. El interruptor permite trabajar en dos modos de operación: modo carácter y modo palabra. En el modo carácter el usuario puede formar las señas del alfabeto y, en el modo palabra, puede formar señas que significan frases completas en el lenguaje de los sordomudos. El primer botón del control permite indicarle al sistema que lea la seña que el usuario tiene formada con el guante; el segundo botón permite borrar la última seña formada para aquellos casos en los que el usuario haya formado incorrectamente una seña y, el último botón, indica al sistema que reproduzca en forma de voz la frase formada.

6.2 ELECCIÓN DEL SISTEMA SENSOR

El guante está construido con sensores de flexión, tras una comparación entre las diferentes opciones, se llegó a la conclusión de que las galgas extensiométricas tienen más ventajas. Los puntos analizados para llegar a esta elección fueron:

- Manejabilidad. Los sensores de flexión son láminas delgadas lo cual facilita su adaptabilidad al guante (en comparación con los sistemas electromecánicos los cuales son muy estorbosos y difíciles de manipular).
- Dispositivos adicionales. No se requieren dispositivos como por ejemplo fuentes de luz (como en el caso de los sistemas de fibra óptica).
- Calibración. No se requiere de calibración cada vez que el sistema se utiliza (a diferencia del sistema electromecánico y el sistema de fibra óptica).
- Parámetros de medición. Los únicos valores que se miden en los sensores de flexión son valores de resistencia lo cual es manejable ya que se pueden manejar como simples resistencias e integrar en circuitos como por ejemplo el puente de Wheatstone y entonces manejar voltajes, además el aumento de resistencia es proporcional (en el caso del sistema electromecánico se requerían medir cambios angulares y, en el caso del sistema de fibra óptica, se requería medir intensidad de luz).

6.3 AMPLIFICADORES DE INSTRUMENTACIÓN

El amplificador de más utilidad en la medición, instrumentación y control es el amplificador de instrumentación. Se construye por medio de varios amplificadores operacionales y resistencias de precisión; gracias a ello, el circuito resulta muy estable y útil en donde es importante la precisión. Actualmente existen varios circuitos integrados que se venden en un solo encapsulado. Desafortunadamente, éstos resultan más caros que un solo amplificador operacional; pero si lo que se necesita es un buen desempeño y precisión, el uso de un amplificador de instrumentación justifica su precio, ya que su desempeño no puede alcanzarse con un amplificador operacional.

6.4 DISEÑO DEL CIRCUITO ACONDICIONADOR

Un pariente cercano del amplificador de instrumentación y de bajo costo, es el *amplificador diferencial básico*.

Mediante el amplificador diferencial se miden y amplifican pequeñas señales que están “ocultas” dentro de señales mayores.

Para la etapa de acondicionamiento de las señales de los sensores se utilizó el amplificador de instrumentación más básico, el amplificador diferenciador, debido a que es un diseño sencillo, no requiere una gran cantidad de dispositivos, su implementación es relativamente barata con respecto a otras y su respuesta es buena. En la figura 6.2, podemos observar el diagrama del circuito.

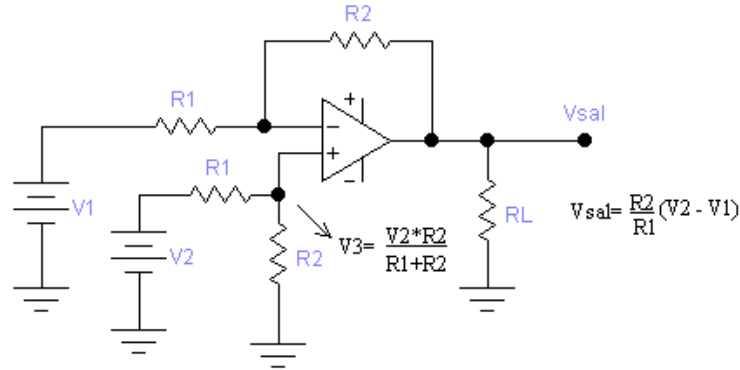


Figura 6.2 Amplificador diferencial básico.

En la figura anterior se muestra la configuración típica de un amplificador diferenciador. Empecemos por deducir las ecuaciones que nos llevarán a la ecuación de salida. Sabemos que por R_1 en la entrada (-) hay una corriente I_1 , determinada por:

$$I_1 = \frac{V_1 - V_3}{R_1} \quad (1.1)$$

y la corriente que sale I_2 , está determinada por:

$$I_2 = \frac{V_3 - V_{sal}}{R_2} \quad (1.2)$$

Como la corriente que entra es igual a la corriente que sale se igualan $I_1 = I_2$

$$\frac{V_1 - V_3}{R_1} = \frac{V_3 - V_{sal}}{R_2}$$

sustituyendo V_3 por:

$$V_3 = \frac{V_2 R_2}{R_1 + R_2} \quad (1.3)$$

haciendo un poco de álgebra llegamos a que:

$$V_{sal} = \frac{R_2}{R_1}(V_2 - V_1) \quad (1.4)$$

Ahora adecuemos el circuito de acuerdo a nuestras necesidades; en la siguiente figura se muestra el diseño del circuito utilizado.

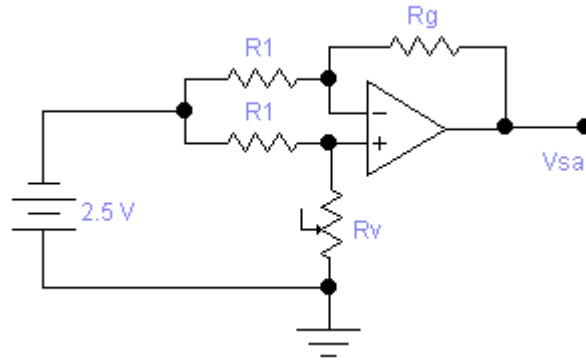


Figura 6.3 Amplificador diferenciador, donde Rg = galga extensiométrica.

Como en el análisis anterior, con V_1 y V_2 , como un mismo voltaje, llamémoslo V_1 y entonces el que era V_3 , ahora es V_2 , y como la corriente de entrada es igual a la de salida entonces:

$$\frac{V_i - V_2}{R_1} = \frac{V_2 - V_{sal}}{R_g}$$

sustituyendo V_2 por:

$$V_2 = \frac{V_i R_S}{R_1 + R_S} \quad (2.1)$$

haciendo un poco de álgebra llegamos a que:

$$V_{sal} = \frac{V_i (R_S - R_g)}{R_1 + R_S} \quad (2.2)$$

Para la ecuación (2.2) se utilizaron diferentes valores, todo dependió de los valores de las galgas extensiométricas, se utilizaron 5 sensores que variaban aproximadamente de $10\text{k}\Omega$ a $60\text{k}\Omega$, por lo que los valores propuestos fueron los siguientes:

$$\begin{aligned} R_1 &= 15\text{k}\Omega \\ R_S &= 10\text{k}\Omega \\ V_i &= 2.5\text{V} \end{aligned}$$

Claro que R_S varía dependiendo de la galga debido a que estas, al igual que las resistencias comerciales, tienen una cierta tolerancia y, además, cada galga tiene un comportamiento parecido pero nunca igual.

Debido a que se agregaron dos galgas que tenían diferentes valores de resistencia (de 100 kΩ a 500 kΩ) se utilizaron los siguientes valores de resistencia para el circuito:

$$R_1 = 120\text{k}\Omega$$

$$R_S = 100\text{k}\Omega$$

$$V_i = 2.5\text{V}$$

Al igual que los otros 5 sensores, el R_S se adecuó al valor exacto de las otras dos galgas.

Para los valores anteriores, se implementó un divisor de voltaje para obtener 2.5 V, y como se obtenían voltajes negativos en la salida, necesitábamos un inversor a la salida de cada circuito, por lo que se optó por suministrar un voltaje de entrada de -2.5V , con lo que obteníamos voltajes positivos a la salida. En la figura 6.4 se puede observar la relación entre la variación de la galga y el voltaje de salida.

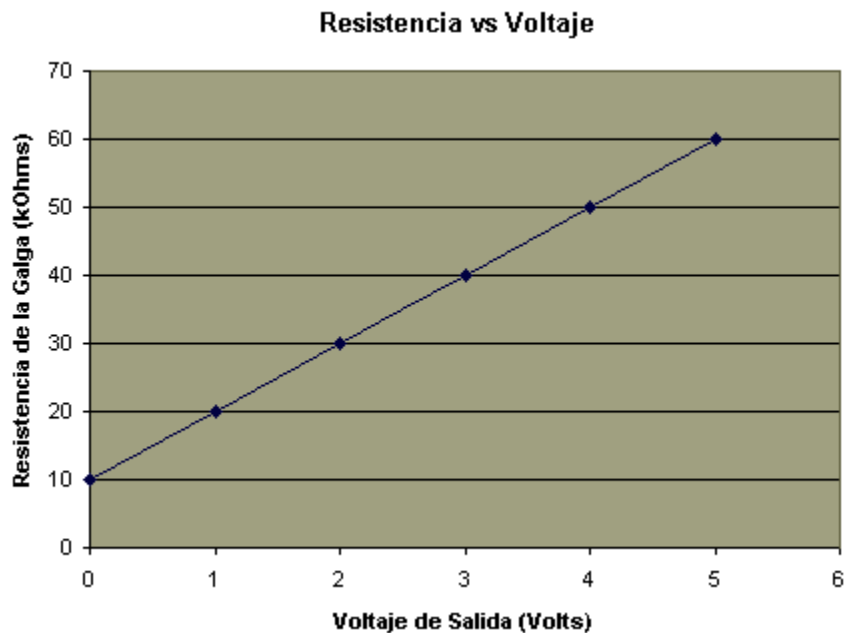


Figura 6.4 Gráfica de respuesta a la salida del amplificador con respecto a la resistencia de la galga.

Como se puede observar en la gráfica, para un cambio en la resistencia de la galga existe un cambio proporcional al voltaje de salida del amplificador. Esta gráfica resultó de las simulaciones realizadas; sin embargo en la práctica esta gráfica varía un poco, debido a que el voltaje de alimentación de los circuitos integrados es de 5 voltios y a que con la circulación de la corriente a veces existen pérdidas de corriente, entonces el voltaje máximo de salida es aproximadamente de 4 voltios.

CAPÍTULO 7. DIGITALIZACIÓN DE SEÑALES Y RECONOCIMIENTO DE SEÑAS

7.1 ADQUISICIÓN DE DATOS

Para la adquisición de datos y problemas de control se comienza con la medición de cantidades físicas por medio de un sensor. La salida analógica del sensor es entonces una señal que necesita acondicionarse para ser aceptada por el microcontrolador. Con el microcontrolador, la señal analógica es convertida en su equivalente a digital, por medio de programación, el microcontrolador puede comparar el valor digital con algún valor predeterminado y realizar operaciones lógicas basadas en el resultado de la comparación o realizar cálculos matemáticos para obtener una salida adecuada al problema.

7.1.1 DIAGRAMA A BLOQUES DEL ALGORITMO PARA REALIZAR LA CONVERSIÓN ANALÓGICA – DIGITAL

A continuación se muestra el diagrama a bloques del algoritmo que convierte las 7 señales provenientes del acondicionador de la señal, para después guardar los valores de manera digital en 7 distintos registros, utilizando el microcontrolador 68HC11.

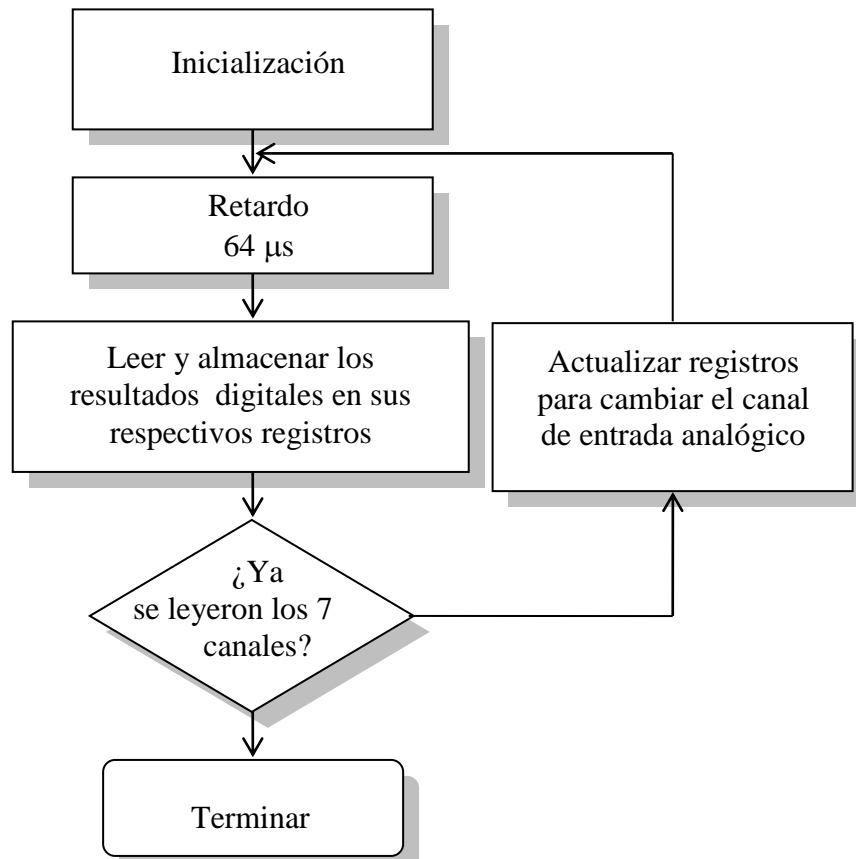


Figura 7.1 Diagrama de Flujo del Convertidor A/D de 7 canales.

El ADC interno del microcontrolador 68HC11 se inicializa de forma que los 4 registros, en los que se almacena los valores digitales, tomen un solo canal para convertir, enseguida se genera un tiempo de espera para que el capacitor del convertidor A/D se cargue con el voltaje que presenta el sensor, después de la conversión se toma el valor digital y se almacena en un registro, realizando este proceso para cada una de las 7 señales analógicas. Terminado el proceso se envían los 7 registros a la unidad de inferencia difusa para que se reconozca la seña.

7.2 UNIDAD DE INFERENCIA DIFUSA APLICADA AL SISTEMA TRADUCTOR DEL LENGUAJE DE SEÑAS A VOZ

La unidad de inferencia difusa es la parte central del sistema traductor del lenguaje de señas a voz, ya que se encarga del reconocimiento de la seña. El desarrollo de una unidad de inferencia difusa en lenguaje ensamblador presenta un alto grado de dificultad, por lo que es necesario utilizar un software capaz de desarrollar unidades de inferencia difusa. Actualmente solo existe un programa llamado FIDE el cual es capaz de realizar unidades de inferencia difusa, además presenta una interfaz amigable y el lenguaje que utiliza para programar la unidad es sencillo de comprender, asimismo, genera el código en lenguaje ensamblador para algunos microcontroladores de la familia Motorola.

7.2.1 DESARROLLO EN FIDE DE LA UNIDAD DE INFERENCIA DIFUSA PARA EL RECONOCIMIENTO DE SEÑAS

Para el desarrollo en FIDE de una unidad de inferencia difusa se tiene la siguiente metodología:

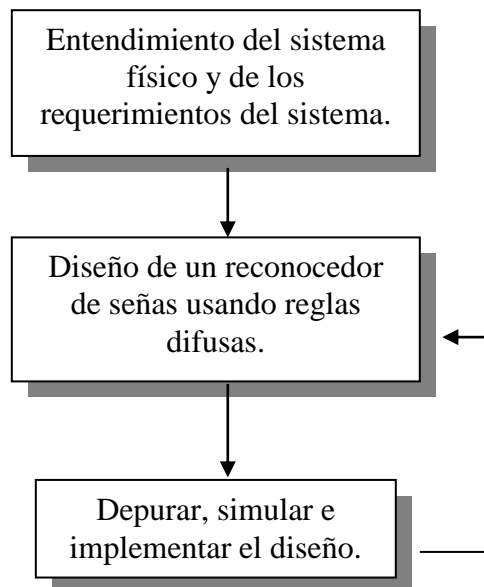


Figura 7.2 Diagrama de la metodología de FIDE.

7.2.2 ENTENDIMIENTO DEL SISTEMA FÍSICO Y DE LOS REQUERIMIENTOS DE LA UNIDAD

En un principio es necesario definir los conjuntos difusos sobre las variables de entrada / salida. En nuestro caso el sistema está constituido por siete variables de entrada (5 dedos, muñeca y codo) y una variable de salida (letra o palabra). Para iniciar el desarrollo del controlador difuso en FIDE, primero se especifica los límites para cada variable de entrada:

a) *Para el dedo meñique (medición de grado de flexión):*

Grado de flexión mínimo: 0

Grado de flexión máximo: 220

b) *Para el dedo anular (medición de grado de flexión):*

Grado de flexión mínimo: 0

Grado de flexión máximo: 230

c) *Para el dedo medio (medición de grado de flexión):*

Grado de flexión mínimo: 0

Grado de flexión máximo: 200

d) *Para el dedo índice (medición de grado de flexión):*

Grado de flexión mínimo: 0

Grado de flexión máximo: 210

e) *Para el dedo pulgar (medición de grado de flexión):*

Grado de flexión mínimo: 0

Grado de flexión máximo: 170

f) *Para la muñeca (medición de grado de flexión):*

Grado de flexión mínimo: 0

Grado de flexión máximo: 170

g) *Para el codo (medición de grado de flexión):*

Grado de flexión mínimo: 0

Grado de flexión máximo: 255

Nota: Los sensores presentan un valor que va de 0 a 5 voltios aproximadamente, pero la mayoría de los sensores no llegan a este valor cuando son siendo utilizados dentro del guante. Después de pasar por el convertidor analógico / digital, el valor en voltios se escala en un intervalo de 0 a 255, por lo que se propuso que este nuevo valor sea el grado de flexión de los sensores. Es decir:

0 – 5 voltios analógico

0 – 255 grado de flexión.

Por ejemplo:

Para un valor de 2.5 voltios, el grado de flexión del sensor es de 127.5, pero debido a que el convertidor analógico digital solo entrega valores enteros del tamaño de un byte, el grado de flexión final es de 127. Realizar esto es posible, debido a que el grado de flexión del sensor es directamente proporcional al cambio de voltaje que se produce al doblar el sensor.

Cabe mencionar que el grado de flexión mínimo en todos los casos es de cero debido a que ninguno de los sensores presenta un grado de flexión menor a este valor.

Con respecto al grado de flexión máximo, este se determinó a partir de pruebas realizadas con los sensores donde se notó que cada sensor tiene un grado de flexión máximo teniendo un pequeño intervalo de tolerancia para evitar que sobrepase el valor.

Ahora se especifican los límites de las variables de salida.

h) Letra reconocida (símbolo):

Valor de símbolo mínimo: 0

Valor de símbolo máximo: 22

Se puede reconocer hasta 22 letras diferentes, es por eso que el valor del símbolo máximo es 22, y el valor mínimo es 0 debido a que, en caso de no reconocer la seña el valor del símbolo es nulo, por lo tanto el sistema no lo toma en cuenta.

7.2.3 DISEÑO DE UN RECONOCEDOR DE SEÑAS USANDO REGLAS DIFUSAS

Hasta este momento se han definido los universos de discurso que tendrán las diferentes variables del sistema. Se inicia el desarrollo especificando un titulado, el cual incluye el tipo de unidad, el método de inferencia, los operadores que se utilizarán para la conjunción y la disyunción, y el grado de precisión. Para el sistema traductor de lenguaje señas a voz, se especifica el siguiente titulado:

$$f_{iu} \text{ } t_{vfi} \text{ } (min \text{ } max) * 8;$$

Donde:

- *f_{iu}* especifica que la unidad creada es una Unidad de Inferencia Difusa de FIDE.
- *t_{vfi}* determina que la inferencia difusa se realizará por el flujo de valores verdaderos.
- *(min max)* define el operador de minimización para la disyunción y al operador de maximización para la conjunción.
- **8* especifica el grado de precisión (ocho bits) ya que es el número de bits que maneja el microcontrolador a usar (68HC11).

Posterior a este titulado se deben definir cuantitativamente los conjuntos difusos de cada variable. Para especificar el número de conjuntos de cada variable, no existe a la fecha una metodología específica; sin embargo varios trabajos experimentales demuestran que el número óptimo es de 7 conjuntos para cada variable. En el caso específico de nuestro sistema, no se tuvieron esta cantidad de conjuntos debido a que si se realiza esto, es necesario crear más reglas difusas, por lo que se necesita más memoria y más tiempo de procesamiento, además de que no necesitamos tanta precisión ya que los sensores tienen un cierto grado de variación el cual es contemplado en cada uno de los 5 conjuntos o funciones de membresía que se definen en cada variable.

El número de conjuntos difusos para cada variable de entrada así como de salida se especifica detalladamente en el código desarrollado en FIDE que se presenta posteriormente. Para entender mejor la declaración de los conjuntos difusos de las variables de entrada que se presentan en el código del sistema de reconocimiento de señas desarrollado en FIDE, se ejemplifica la variable de entrada “D1” (Dedo Meñique). La declaración de los conjuntos difusos o funciones de membresía para esta variable es la siguiente:

```
invar D1 "grados" :0 ( ) 220 [  
    FLEX1 (@0.0, 1, @55.0, 0),  
    FLEX2 (@37.0, 0, @66.0, 1, @95.0, 0),  
    FLEX3 (@81.0, 0, @110.0, 1, @139.0, 0),  
    FLEX4 (@125.0, 0, @154.0, 1, @183.0, 0),  
    FLEX5 (@165.0, 0, @220, 1)  
];
```

La palabra “invar” define que es una variable de entrada, cuyo nombre es “D1” (Dedo Meñique). Las unidades de ingeniería se especifican entre comillas, para este caso son grados, después de los dos puntos se especifica el intervalo del universo de discurso para la variable (FIDE lo traslada al intervalo de 0 a 255), con el incremento que se desea escribiéndolo entre paréntesis, en el caso del sistema de reconocimiento de señas se deja el valor por omisión para que el programa calcule el valor del incremento, (para 8 bits este intervalo de incrementos es de 0.8627).

Después se pone cada etiqueta con la que se identifica cada conjunto difuso definido, se especifican entre paréntesis los puntos con su respectivo valor de membresía que definirá así, las funciones de membresía para cada conjunto difuso en el universo de discurso en cuestión. Se definen tres diferentes tipos de conjuntos difusos o funciones de membresía estándar, los tipo “Z” que se definen al principio del universo de discurso y consta de dos puntos, los tipo “Lambda” los cuales están en la parte media del universo de discurso, tienen tres puntos y cada uno especifica un punto del triángulo (conjunto difuso que se forma) y los tipo “S” que se definen al final del universo de discurso y al igual que los tipo “Z”, son de 2 puntos. En la figura 7.2 se muestran los tipos de funciones de membresía mencionados anteriormente enfocados a la variable de entrada “D1” (Dedo meñique).

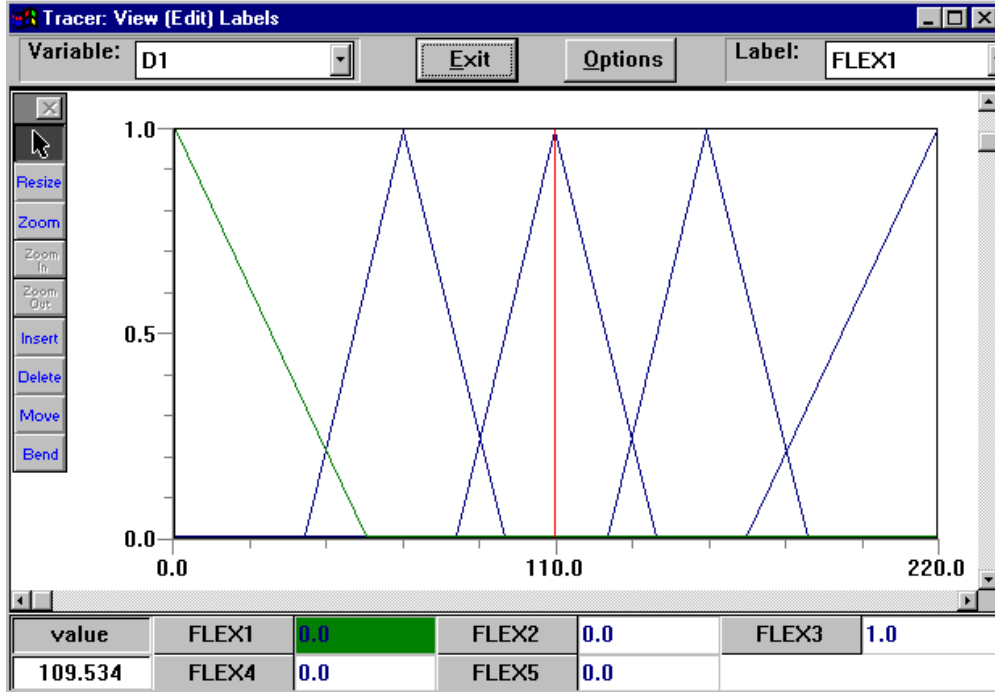


Figura 7.3 Gráfica de las funciones de membresía para la variable de entrada “D1”.

En la declaración del primer conjunto difuso: FLEX1 (@0.0, 1, @55.0, 0), se identifica primeramente la etiqueta del conjunto difuso que en este caso es FLEX1 (Grado de Flexión 1, es decir no flexionado), después entre paréntesis se determinan los parámetros de este conjunto comenzando siempre con una arroba “@”, posteriormente se escribe un número, el cual indica el valor de la variable independiente (valor en grados) donde comienza el conjunto difuso, de la misma manera se van indicando los siguientes puntos del conjunto difuso para que tome la forma deseada que en este caso es una función de membresía de tipo “Z” como se muestra en la figura.

La metodología que FIDE requiere para formar los conjuntos difusos de salida es similar a la forma en que se especifican los conjuntos de entrada, salvo que para los conjuntos de salida se tienen dos opciones para especificarlos, dependiendo del método especificado en el titulado para efectuar la inferencia difusa. Especificando el método *tvfi*, los conjuntos difusos de salida deben ser impulsos (funciones de membresía de tipo singleton), es decir, conjuntos difusos certeros (cuyo soporte es un solo punto en el universo de discurso).

El otro método disponible para la inferencia difusa es el denominado en FIDE como de Mamdani. Si este es el método seleccionado, los conjuntos difusos de salida deben especificarse de la misma forma que los conjuntos definidos para las entradas. Este método tiene la desventaja de que al realizarse la inferencia difusa, requiere de más tiempo para realizar el proceso de defusificación. Por lo que se definió el método de *tvfi* como el

proceso de inferencia para el sistema de reconocimiento. Enseguida se detalla la forma en que se definen en FIDE los conjuntos difusos impulsos para la variable de salida “letra”:

```
outvar Letra "símbolo" :0.0( ) 22.0 centroid (  
    EOF =0.0,  
    A = 1.0,  
    B = 2.0,  
    C = 3.0,  
    D = 4.0,  
    E = 5.0,  
    F = 6.0,  
    G = 7.0,  
    H = 8.0,  
    I = 9.0,  
    L = 10.0,  
    M = 11.0,  
    N = 12.0,  
    O = 13.0,  
    P = 14.0,  
    Q = 15.0,  
    R = 16.0,  
    S = 17.0,  
    T = 18.0,  
    U = 19.0,  
    V = 20.0,  
    W =21.0,  
    Y = 22.0  
    );
```

- *outvar*, especifica que se trata de una variable de salida, cuyos nombre es “Letra” y la unidad de ingeniería de la variable es “símbolo”.
- *0.0() 22.0*, después de los dos puntos se especifica el intervalo del universo del discurso para la variable, con el incremento que se desea escribiéndolo entre paréntesis, en el caso del sistema de reconocimiento de señas se deja el valor por omisión para que el programa calcule el valor del incremento, (para 8 bits este intervalo de incrementos es de 0.08627).
- *centroid*, especifica el método de la defusificación que, en el caso del sistema se eligió el centroide, debido a que tiene un mejor desempeño en el reconocimiento de patrones, además la velocidad que tiene el proceso de defusificación es alta.
- Se definen finalmente los conjuntos difusos en forma de lista (solo se declaran la etiqueta de la función de membresía y punto soportado) y encerrados entre paréntesis, los cuales especifican la letra que puede reconocer la unidad de inferencia difusa.

Continuando con la metodología de diseño, el siguiente paso consiste en generar el algoritmo de control difuso (dictado de reglas). FIDE admite, para la estructuración de las reglas, el empleo de ‘n’ antecedentes y ‘m’ consecuentes, para la unidad de inferencia que se realiza para el sistema de reconocimiento se tienen siete antecedentes y un consecuente de lo cual se pueden generar hasta 78125 reglas difusas, pero la mayoría de ellas no se presentan, solo se encuentran las necesarias para cubrir las señas que se desean reconocer. La unidad de inferencia difusa desarrollada para generar el sistema de reconocimiento tiene 203 reglas difusas suficientes para reconocer 22 letras diferentes.

A continuación se presenta el código de una de las reglas la cual se encarga de reconocer la letra A:

```
if D1 is FLEX5 and D2 is FLEX5 and D3 is FLEX5 and D4 is FLEX5 and D5 is FLEX1  
and MC is FLEX1 and CD is FLEX5 then Letra is A;
```

Cada vez que se genera una nueva regla difusa se inicia con la palabra reservada “if”, después se toma cada una de las variables de entrada especificando el conjunto difuso al que pertenece la letra a reconocer. En el ejemplo anterior, los primeros cuatro dedos (meñique, anular, medio e índice) tienen el grado de flexión más alto es decir totalmente flexionado, el dedo pulgar no tiene flexión por lo que pertenece al menor grado de flexión, después es la muñeca que también pertenece al conjunto difuso FLEX1 y por último el codo el cual pertenece al conjunto difuso FLEX5, es decir, se encuentra totalmente flexionado. Todas las variables se encuentran unidas por el operador “and” y su función es similar a la función de la “intersección” ya que si todas las condiciones se cumplen entonces se genera la salida que se definió con esta regla.

Por último se observa la palabra reservada “then” con la que se inicia el valor que debe tomar la variable de salida que para el argumento anterior es el conjunto difuso “A”.

7.2.4 DEPURAR, SIMULAR E IMPLEMENTAR EL DISEÑO DE LA UNIDAD

Es la última fase de la metodología para desarrollar una unidad de inferencia difusa si el diseño fue correcto, de lo contrario es necesario volver al diseño para modificar los conjuntos difusos y / o las reglas difusas.

En esta etapa se observa el comportamiento de la unidad de inferencia difusa dentro del sistema reconocedor de señas, FIDE tiene herramientas para visualizar el desempeño, pero preferimos implementar el sistema de manera real para obtener resultados verídicos, esto es posible debido a que FIDE provee código ensamblador en tiempo real.

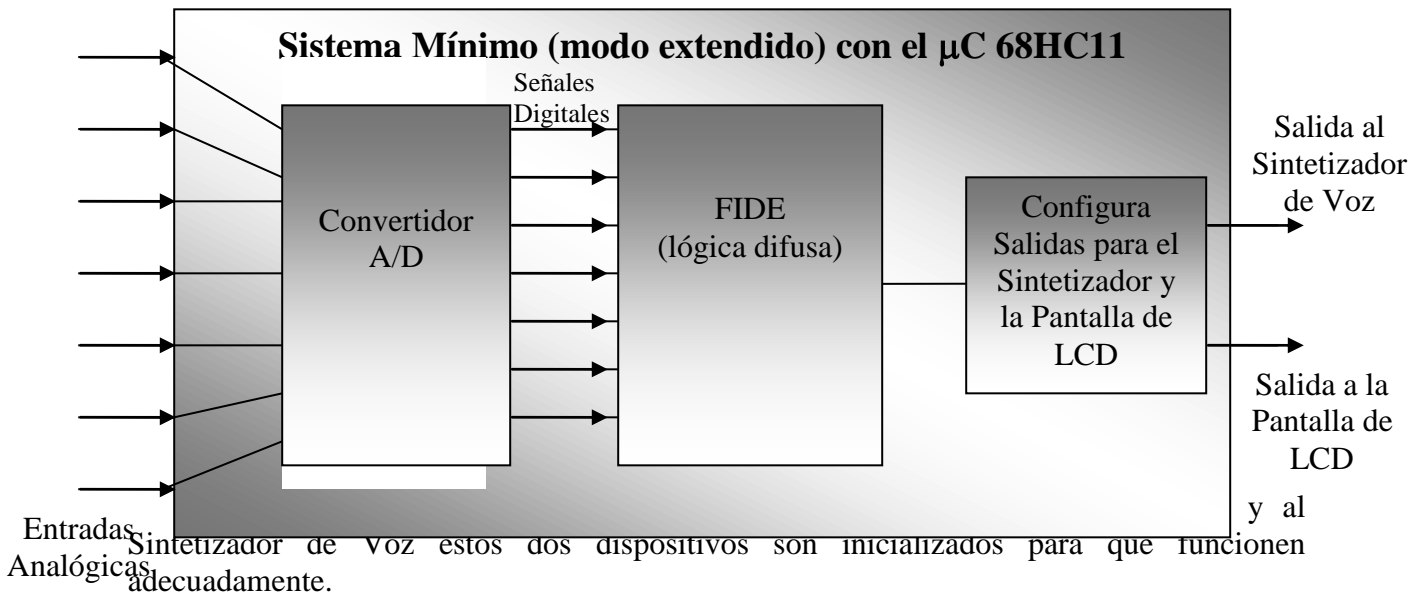
Se realizaron dos mejoras en el sistema, una de ellas fue aumentar el traslape de los conjuntos difusos o funciones de membresía, la segunda mejora fue generar más reglas difusas para cada seña, todo esto con el fin de anular el error mínimo que los sensores producen y el problema de que algunos valores caen dentro de dos conjuntos difusos.

7.3 SISTEMA DE INFERENCIA DIFUSA EN EL SISTEMA MÍNIMO EN MODO EXTENDIDO

El funcionamiento general del sistema de inferencia difusa del proyecto se puede explicar con el siguiente diagrama. Como se puede observar las entradas del sistema son las 7 señales provenientes del guante. Estas señales son analógicas por lo que se reciben en el convertidor analógico a digital del microcontrolador 68HC11 para entonces manejarlas como señales digitales.

Una vez que se digitalizan las señales entonces éstas se manejan como variables de entrada para la unidad de inferencia difusa que se encarga de realizar el reconocimiento de la seña.

La variable de salida que se obtiene de la unidad de inferencia difusa es una letra o mensaje completo del lenguaje de señas que es enviado tanto a la pantalla de cristal líquido como al Sintetizador de Voz para la visualización y emisión en forma de voz, respectivamente, del mensaje formado por el usuario.



Como es de suponer, tanto el código necesario para la configuración de dispositivos externos como el código de reconocimiento de señas es muy extenso por lo que el microcontrolador se maneja en el modo extendido, es decir, en el modo en que se tiene acceso a 32 KB de memoria RAM lo cual resulta más que suficiente. En los siguientes dos capítulos se explica el funcionamiento del Sintetizador de Voz y de la Pantalla de Cristal Líquido.

CAPÍTULO 8. GENERACIÓN DE VOZ ARTIFICIAL

Los dispositivos de salida del sistema son dos: el Sintetizador de Voz y la Pantalla de Cristal Líquido (LCD).

La función del primero de ellos es la generación de voz de manera artificial, en nuestras primeras pruebas trabajamos con la computadora para generar la voz ya que teníamos más recursos y estábamos analizando cuál de los métodos de generación de voz era el más adecuado, pero para nuestro propósito se requería generar la voz para un sistema portátil que a continuación se explica detalladamente, así como una pantalla de cristal líquido que es el segundo dispositivo de salida del sistema final.

8.1 ACTIVIDADES DESARROLLADAS PARA LOS SINTETIZADORES DE VOZ

La segunda opción para la generación de voz después de la primera prueba con la computadora, fue el uso de Sintetizadores de Voz. Tales dispositivos son adecuados para el desarrollo de sistemas portátiles ya que se pueden conectar como dispositivos externos.

El sintetizador de voz utilizado fue el modelo V8600A de la compañía RC Systems (<http://www.rcsys.com/>).



Figura 8.1 Sintetizador de Voz V8600A

8.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL V8600A

El V8600A es un sintetizador de voz basado en el chip DoubleTalk RC8650 de RC Systems. El V8600A convierte automáticamente texto ASCII en voz masculina de alta calidad. Con sus menos de 74 mm² de tamaño, el V8600A sólo requiere de una fuente de alimentación de 5 volts y una bocina para utilizarse.

Entre las características más importantes del V8600A se tienen las siguientes:

- Alta calidad de voz
- Tres modos de operación:
 - Fonema
 - Carácter
 - Texto
- Idioma inglés y español
- Vocabulario ilimitado
- Convierte automáticamente cualquier texto ASCII a voz
- Agrega / modifica mensajes por edición de un archivo de texto
- Buffer de entrada de 2 KB
- Software de control (comandos) de todos los parámetros de voz
- Requiere de una fuente de alimentación de +5 volts
- Requiere de una bocina de 500 mW y 8 Ω
- Diseño CMOS y compatible con TTL
- Bajo consumo: 110 mW cuando trabaja, 5 mW cuando no trabaja y 250 μ W cuando está en modo stand by
- Tres interfaces de uso:
 - Microprocesador
 - Puerto paralelo de la computadora
 - Puerto serial de la computadora

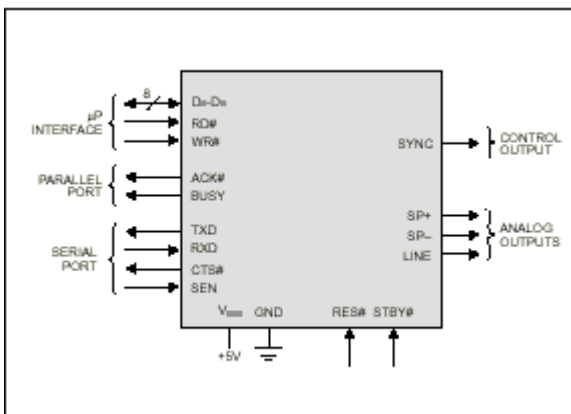


Figura 8.2 Símbolo lógico.

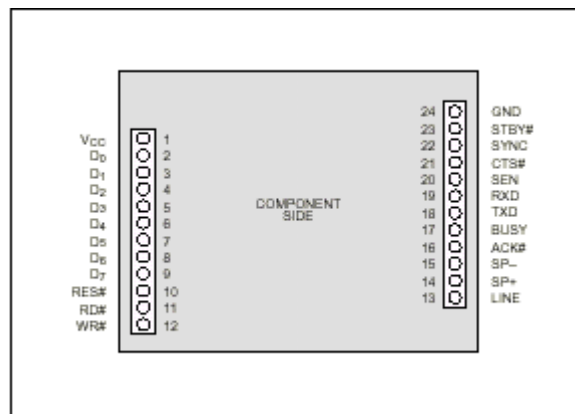


Figura 8.3 Configuración de los pines.

Para una completa descripción de todas las características del sintetizador de voz se recomienda leer el apéndice que se encuentra en la parte final del reporte.

8.2.2 DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DEL V8600A

El manejo del V8600A no es más que un problema de escribir frases en un archivo de texto e imprimirlo si está conectado al puerto paralelo de una computadora. Se dispone de comandos que controlan los atributos de la voz del sintetizador, como la rapidez y el tono, que pueden ser modificados incluso en el mismo momento en el que el sintetizador de voz está “hablando”.

La descripción funcional del Sintetizador de Voz se explica auxiliándose del siguiente diagrama a bloques.

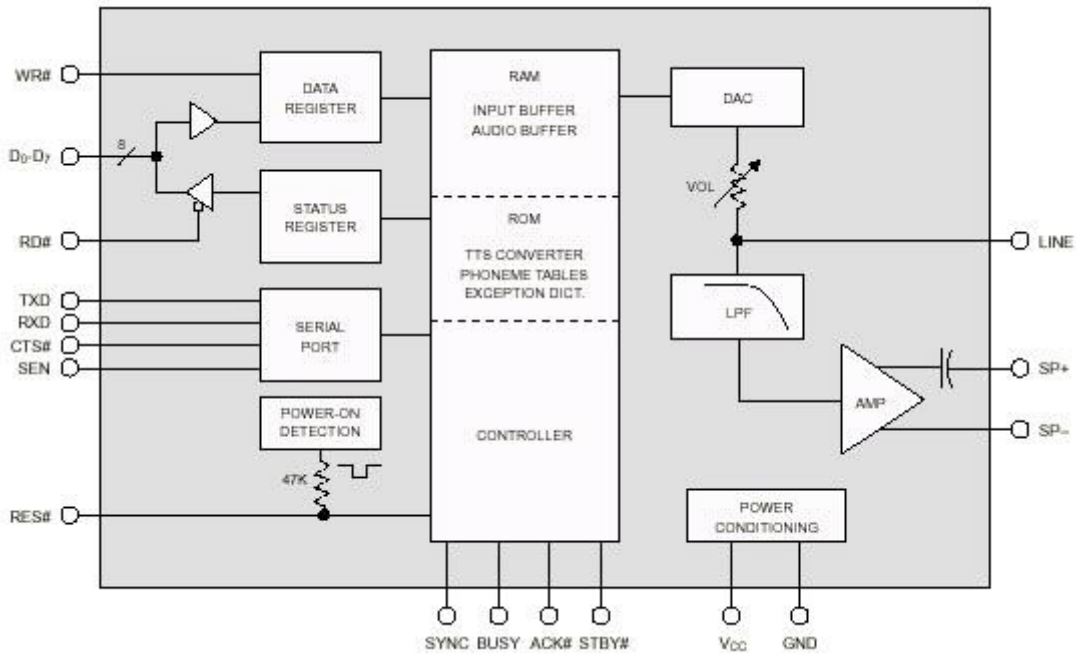


Figura 8.4 Diagrama a bloques del V8600A.

- **Data Register.** Es un registro de 8 bits en el cual se escriben tanto el texto en ASCII y los comandos desde el bus de datos (D₀-D₇). Un microprocesador puede escribir datos en este registro colocándolos en el Bus de Datos y controlando la señal Write (pin número 12) que se explica más adelante.
- **Controller.** Es responsable del procesamiento del texto y comandos y de convertir el texto de entrada en habla.
- **ROM.** La ROM contiene un sistema de operación interno y los algoritmos texto-habla.
- **RAM.** Una memoria RAM estática de 4K X 8 permite el almacenamiento para el buffer de entrada del texto, y 1K para el buffer de muestras de audio para el convertidor digital a analógico DAC. Aproximadamente 2 Kb son disponibles para el buffer de entrada.

- DAC. Un convertidor digital a analógico de 8 bits convierte las muestras de habla digital del Controller en señales analógicas bajas que son enviadas a la entrada de un filtro antialiasing pasa-bajas. La frecuencia de corte de este filtro es de 3.5 kHz.
- Amp. El amplificador toma la señal del filtro pasa-bajas y eleva la potencia a un nivel suficiente para manejar una bocina de 8 Ω.

8.2.3 CONEXIÓN

Como se describió en las características, el sintetizador de voz puede conectarse de tres maneras distintas, con un microprocesador, en el puerto paralelo y en el puerto serial de una computadora.

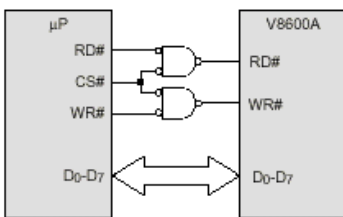


Figura 8.5 Microprocesador.

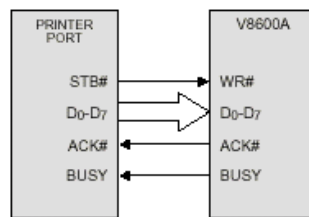


Figura 8.6 Puerto paralelo.

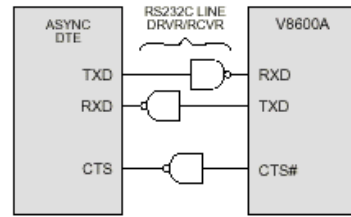


Figura 8.7 Puerto serial.

Para comprender el funcionamiento del sintetizador de voz primeramente se conectó a la computadora donde pudimos haber utilizado tanto la conexión al puerto paralelo como la conexión al puerto serial. Debido a que el sintetizador de voz iba a ser controlado por el microcontrolador 68HC11, se decidió conectar el V8600A al puerto paralelo ya que ésta conexión es muy parecida a la que más adelante realizaríamos con uno de los puertos del microcontrolador 68HC11. La conexión del sintetizador de voz con la PC se ilustra en la figura 8.8.

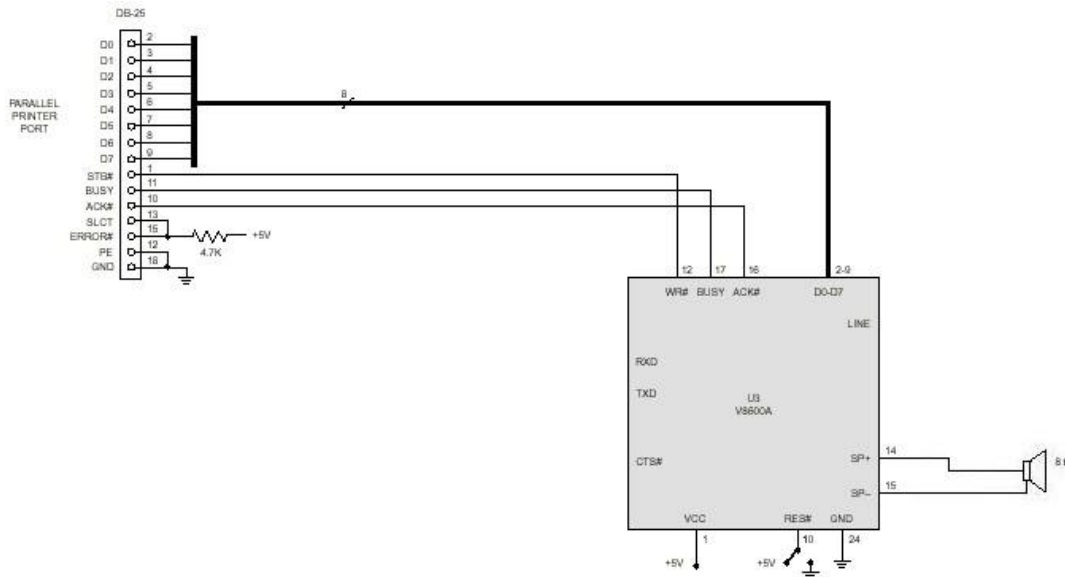


Figura 8.8 Conexión del V8600A con el puerto paralelo

8.2.4 PINES

En el circuito de la figura anterior se aprecia que sólo se utilizaron algunos de los pines del sintetizador. La función de cada uno de ellos se explica en seguida.

- **VCC.** Suministro de energía. Voltaje de +5 v, $\pm 10\%$.
- **D₀ – D₇.** Bus de datos. Estos pines forman un bus de 8 datos bidireccional entre el V8600A y la PC.
- **RES.** Reset. Un cero en este pin forza a un reset de hardware: la producción de habla es detenida inmediatamente, el buffer de entrada es limpiado y tanto las banderas como los parámetros de voz cambian a sus valores predeterminados.
- **WR.** Write. Este pin es usado para transferir datos al V8600A vía el bus de datos.
- **SP+, SP-.** Speaker. Estos pines proveen una señal de audio filtrada capaz de manejar 500 mW en una bocina de 8 Ω . La salida es una función del control del volumen y del comando de volumen (nV).
- **ACK.** Acknowledge. Este pin produce un pulso de 9 μ s después de cada escritura exitosa en el V8600A a través del bus de datos (D0 – D7).
- **BUSY.** Busy. Este pin está en bajo cuando el V8600A está listo para aceptar datos. BUSY pasa momentáneamente a un estado alto después de una operación de escritura a través del bus de datos reconociendo los caracteres que se reciben. Si el buffer de entrada se llena por completo como resultado de una operación de escritura, BUSY permanecerá en un estado alto hasta que haya espacio suficiente en el buffer.
- **GND.** Ground. Este pin debe conectarse a tierra.

8.2.5 MANEJO DE ARCHIVOS

Una vez conectado el Sintetizador de Voz a la computadora se procedió a enviar archivos de texto al puerto paralelo para que el V8600A los leyera. Para enviarlos se utilizaron comandos del sistema operativo MS-DOS. Por ejemplo, los siguientes comandos TYPE, PRINT y COPY envían el archivo hola.txt al puerto paralelo de la impresora:

```
type hola.txt > prn  
print hola.txt  
copy hola.txt prn
```

Los tres comandos anteriores hacen exactamente lo mismo, envían el archivo hola.txt al sintetizador de voz V8600A y, cuando éste lo recibe, lee el contenido del mismo.

8.2.6 COMANDOS

El sintetizador de voz dispone de varios comandos para el control de los parámetros de la voz. Asimismo, tales comandos permiten manejar el modo de operación.

Como ya se explico, el sintetizador de voz recibe en un archivo de texto la frase que tiene que leer. En este archivo de texto los comandos pueden ser combinados con el mensaje que será hablado por el sintetizador de voz. Para diferenciar entre comandos y texto, todos los comandos son precedidos por el símbolo ■. Este símbolo es llamado comando carácter y su símbolo ASCII es 001.

La sintaxis de los comandos es la siguiente:

<comando carácter> [número] <literal>

Donde *comando carácter* es el símbolo ■, así como *número* y *literal* son cadenas de texto.

En el caso de que sea necesario utilizar dos comandos juntos, cada uno debe ser precedido por el comando carácter.

Entre los comandos más importantes, o al menos aquellos con los que se trabajo, se encuentran los siguientes.

Comando	Función	Rango para n
■n	Establece el modo de operación ya sea en modo fonema, modo carácter o en modo texto.	D (fonema) C (carácter) T (texto)
nO	Establece la voz con la que se leerá el texto.	0-7
nS	Establece la velocidad de pronunciación de la voz.	0-9
nA	Establece el nivel de articulación de la voz.	0-9
nE	Establece la entonación de la voz.	0-9
nF	Establece la respuesta en frecuencia de la voz.	0-9
nP	Establece el pitch con el que se hablará.	0-99
nX	Establece el tono de la voz.	0-2
nR	Establece si la voz tendrá o no eco.	0-9
nB	Establece o elimina filtros de puntuación del texto a leer.	0-15
nV	Establece el volumen con el que hablará en sintetizador.	0-9
nQ	Establece el tiempo de espera para irse al modo stand by.	0-31

- ■T. Este comando establece el modo de operación del sintetizador de voz en modo texto. Todos los datos que el sintetizador de voz reciba se leerán de forma normal, es decir, como si una persona estuviera hablando.
- nO. El sintetizador de voz tiene 8 voces estándar e, independientemente, controles que pueden ser usados variando las características de cada una de estas voces. Las diferentes voces se muestran a continuación:

n	Nombre de la voz
0	Perfect Paul
1	Vader
2	Big Bob
3	Precise Pete
4	Ricochet Randy
5	BIRF
6	Skip
7	Robo Robert

Las voces son seleccionadas con los comandos 0O hasta 7O. Debido a que este comando modifica numerosos parámetros de voz (pitch, entonación, tono, etc.) es recomendable que preceda a los demás comandos.

- nS. La velocidad del sintetizador de voz puede ser ajustada mediante este comando, desde 0S (la más lenta) hasta 9S (la más rápida). La velocidad predeterminada es 2S.
- nA. Este comando establece el nivel de articulación que va desde 0A hasta 9A. Valores muy bajos para este comando ocasionan una mala pronunciación; valores muy altos, por otro lado, ocasionan que la voz suene entrecortada. El valor predeterminado es 5A.
- nE. La entonación es la variación del tono en una frase. Cuando n (en el comando nE) es mayor que cero, el sintetizador de voz trata de imitar los patrones de tono del habla humana. Por ejemplo, cuando una frase termina con un punto, el tono cae al final de la pronunciación; un signo de interrogación causará que el tono crezca.

El parámetro opcional n determina el grado de entonación. 0E origina que la voz del sintetizador suene monótonamente, es decir, que no tenga tono, visto que 9E es un tono muy agudo, 5E es el valor predeterminado para el sintetizador de voz. Si el parámetro es omitido, el valor que se usará será el último que se estableció con el comando nE. Esto puede ser útil para habilitar la entonación después de usar el comando nE con n = 0.

- nF. Este comando establece la respuesta en frecuencia del sintetizador de voz, desde el rango 0F hasta 9F. Por la variación de la frecuencia la calidad de voz puede ser afinada o el tipo de voz puede ser modificado.
- nP. Este comando varia el pitch del sintetizador de voz dentro de un amplio rango, el cual puede producir entonación manual o crear efectos de sonido (incluso cantar). Los valores para n pueden ser desde 0 hasta 99. El valor predeterminado es 50P.
- nX. El sintetizador de voz soporta 3 tonos: bajo (0X), normal (1X) y soprano (2X). La mejor opción depende de la bocina utilizada y de las preferencias personales. El valor predeterminado para este parámetro es 1X.

- nR. Este comando se utiliza para agregar eco a la voz del sintetizador de voz. El comando 0R deshabilita el eco, valores mayores que cero para n incrementan el efecto del eco para la voz. 9R es el máximo valor para este parámetro.
- nB. Dependiendo de la aplicación, podría ser deseable limitar la lectura de ciertos caracteres de puntuación.

El sintetizador de voz soporta 4 niveles de filtros de puntuación como es mostrado en la siguiente tabla.

n	Puntuación hablada
0	Toda
1	La mayoría (excepto Null, espacio)
2	Alguna (\$%&#@=+*^ \<>)
3	Ninguna

Los valores de n listados en la tabla originan que los números contenidos en el archivo de texto a leer sean leídos un dígito a la vez, por ejemplo 0123, sería leído como “cero uno dos tres”.

Para que los números sean leídos normalmente, por ejemplo para que el número 0123 sea leído como “ciento veintitrés”, el valor de n debe estar entre 4 y 7. Con n = 6 y n = 7 se pueden leer cadenas de texto monetarias, por ejemplo, \$11.95 sería leído como “once pesos y noventa y cinco centavos”.

Finalmente, los valores de n = 8 – 15 permiten que las cadenas de texto que empiezan con cero sean leídas dígito por dígito.

El valor predeterminado para este parámetro es 6B lo que permite que los números sean leídos de manera normal por el sintetizador de voz.

- nV. Este comando permite controlar el nivel de volumen del sintetizador de voz. El mínimo valor para el volumen es 0V. El máximo volumen se alcanza con 9V. El valor predeterminado para el volumen es 5V.
- nQ. Si el usuario olvida apagar la fuente de alimentación del sintetizador de voz, este comando puede ser utilizado para mandar al V8600A al estado de *stand by*. Puede ser programada una alarma, que se escucharía cada diez minutos, para recordarle al usuario que la alimentación no ha sido desconectada antes de que el sintetizador se vaya al modo *stand by*.

Mediante el valor de n se puede mandar al sintetizador de voz inmediatamente al modo *stand by*, habilitar la alarma en uno de 15 posibles intervalos de tiempo (de 10 minutos a 150 minutos) o deshabilitar el modo *stand by*. La siguiente tabla ilustra lo explicado.

n	Retraso
0	Opción <i>stand by</i> deshabilitada
1	10 minutos
.	.
.	.
15	150 minutos
16	0 (inmediatamente)
17	10 minutos con alarma
.	.
.	.
31	150 minutos con alarma

Una vez que el sintetizador de voz se encuentra en el modo *stand by*, sólo puede ser despertado por un reset de hardware o llevando el pin STBY a un estado bajo por 250 ns o más y, después de esto, llevarlo a un estado alto. Las señales BUSY, DTR y RDY son establecidas a estados no listos cuando el sintetizador de voz se encuentra en el modo *stand by*.

8.3 IDIOMA ESPAÑOL

El sintetizador de voz es de origen estadounidense por lo que las reglas de pronunciación que aplica al texto que recibe son inglesas, es decir, el sintetizador de voz lee en inglés todo el texto que recibe. Para configurarlo al idioma español que, por supuesto es el idioma que nos interesa, es necesario cargar el diccionario del idioma español spanish.dix disponible en la página en Internet de RC Systems (<http://www.rcsys.com>). El siguiente comando se encarga de esta actividad:

```
copy /b spanish.dix prn
```

Este comando copia el archivo spanish.dix al puerto paralelo de la impresora. Nótese que para cargar el diccionario al sintetizador de voz fue necesario agregar /b, esto es para enviar el archivo del diccionario en modo binario que es la forma en la que se cargan los diccionarios. Además es necesario habilitar este diccionario mediante el comando ■U.

Es importante enfatizar que cuando el diccionario del idioma español es cargado y habilitado en el sintetizador de voz, éste va a aplicar las reglas de pronunciación del idioma español a todo el texto que reciba sin importar si el texto que reciba esté o no en español.

Se puede pasar de las reglas de pronunciación del idioma inglés a las reglas de pronunciación del idioma español y viceversa con sólo utilizar los comandos ■T y ■U respectivamente.

8.4 VALORES PREDETERMINADOS

El Sintetizador de Voz tiene definidos ciertos valores predeterminados para todos sus parámetros. Cuando el usuario no define cuáles deben de ser los valores para tales parámetros, los valores que se utilizan son los siguientes.

Parámetro	Valor predeterminado para n
■n	T (modo texto)
nO	0
nS	2
nA	5
nE	5
nF	5
nP	50
nX	1
nR	0
nB	6
nV	5
nQ	0

En caso de que se modifique algún valor de n para algún parámetro, por ejemplo de 2S (valor predeterminado de la velocidad de la voz del V8600A) a 9S, todo el texto que el Sintetizador de Voz reciba lo leerá a la máxima velocidad posible (9S). Siempre se mantendrá esta velocidad hasta que se modifique nuevamente el parámetro nS a través de un nuevo archivo (o incluso el mismo archivo) en el que se cambie el valor de n en el texto o se inicialice nuevamente el Sintetizador de Voz por medio del pin Reset.

8.5 GENERACIÓN DE VOZ CON EL SINTETIZADOR DE VOZ

Como ya se mencionó, el Sintetizador de Voz dispone de numerosos parámetros que proporcionan diferentes formas de hablar del V8600A. Para encontrar la voz que mejor se adaptara a nuestras necesidades o la voz que desde nuestro punto de vista se escuchaba mejor, se desarrollo la aplicación SV8600A en Visual Basic que permite controlar tales parámetros.

Esta aplicación permite modificar los 12 parámetros descritos anteriormente (léase el punto **Comandos**) mediante diferentes controles y lo que se obtiene es un archivo de texto llamado **final.txt**, que contiene los valores de estos parámetros establecidos por el usuario mediante el manejo de la aplicación y el texto que el Sintetizador de Voz leerá.

Después de crear el archivo final.txt es necesario mandarlo por el puerto paralelo al Sintetizador de Voz mediante los comandos de MS-DOS (léase el punto **Manejo de Archivos**). Por supuesto, el Sintetizador de Voz debe estar conectado correctamente al puerto paralelo.

La aplicación SV8600A se auxilia de tres archivos para su funcionamiento:

- Default.txt. Este archivo contiene los 12 valores predeterminados para los parámetros que maneja el programa. Estos son los valores que el Sintetizador de Voz utilizaría al hablar si se re-inicializara el V8600A mediante el pin Reset.
- Optimo.txt. Contiene los valores de los parámetros que proporcionan la voz final que utilizaremos en el sistema portátil. Este archivo se obtuvo mediante numerosas pruebas hasta que se consiguió la voz que nos parecía la mejor, es decir, la voz óptima.
- Final.txt. A diferencia de los dos archivos anteriores, este archivo además de contener los valores óptimos para los parámetros del Sintetizador de Voz, contiene el mensaje que el usuario escribió en el campo de texto para que el V8600A lo lea.

El contenido de cada archivo se ilustra en la siguiente figura.

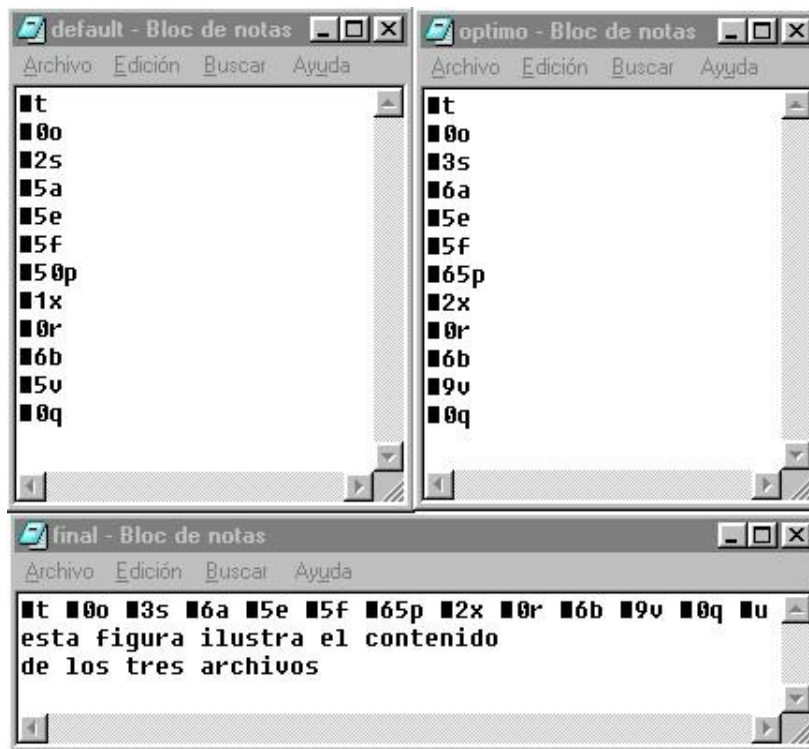


Figura 8.9 Contenido de los archivos default.txt, optimo.txt y final.txt, respectivamente

Puede observarse en la figura que los valores de los parámetros del archivo final.txt son los mismos que los del archivo optimo.txt excepto que se tiene un comando adicional: **u**. Este comando tiene la función de habilitar el diccionario para el idioma español, es decir, todo el texto que sigue a los comandos de parametrización se leerán en español.

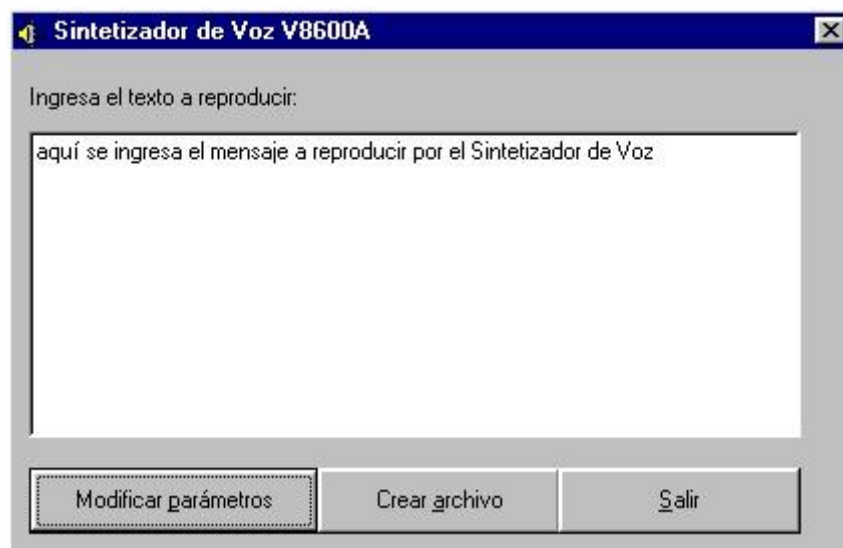


Figura 8.10 Aplicación SV8600A.

Los componentes de esta aplicación se describen en seguida.

- **Campo de texto.** Aquí es donde el usuario puede escribir las frases o mensajes que el Sintetizador de Voz leerá. Si se oprime Enter el cursor se posicionará en una nueva línea, es decir, aún no se creará el archivo final.txt; para ello se tiene que oprimir el botón *Crear archivo*.
- **Modificar parámetros.** Este botón permite modificar los valores predeterminados de los parámetros del Sintetizador de Voz.
- **Crear archivo.** Desde el momento que inicia la aplicación se crea el archivo final.txt por lo que cuando es presionado este botón se agrega a tal archivo el texto contenido en el campo de texto. En caso de que se oprima este botón y no haya mensaje alguno en el campo de texto aparecerá un mensaje de error.

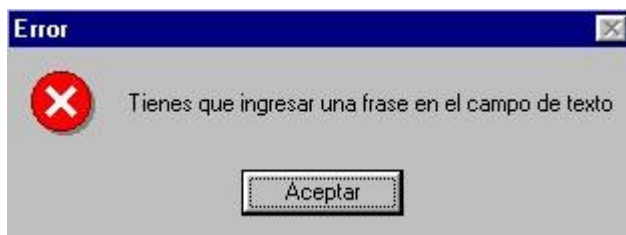


Figura 8.11 Mensaje de error.

- **Salir.** Esta opción termina la aplicación.

Cuando se oprime el botón Modificar parámetros aparece el siguiente formulario.

Figura 8.12 Formulario Parámetros.

Como se puede observar en la figura 8.2, se pueden manipular diferentes parámetros, 12 en total, como lo son: modo de operación, voz, rapidez, articulación, expresividad y entonación, frecuencia, pitch, tono, eco, signos de puntuación, volumen y stand by.

Los controles asociados a cada parámetro permiten acceder a todos sus posibles valores por lo que esta aplicación permite crear gran cantidad de archivos que harían hablar al V8600A con todas sus posibles voces.

Asimismo este segundo formulario tiene diferentes opciones:

- **Guardar valores.** Esta opción guarda los valores actuales de los parámetros en el archivo `optimo.txt`. Cada vez que el usuario construya una nueva configuración mediante la variación de los controles y quiera guardarla como la configuración óptima entonces debe oprimir este botón.
- **Cargar valores.** Cuando el usuario modifique la configuración óptima por error o quiera volver a ella después de haber modificado los valores de los controles, debe oprimir esta opción, que lee del archivo `optimo.txt` los valores de los parámetros y los restablece en los controles.

- Cargar valores predeterminados. Esta opción carga en los controles del formulario los valores predeterminados por el fabricante para el Sintetizador de Voz.
- Regresar. Cuando este botón es presionado, el formulario Parámetros se oculta y los valores que tenían los controles son asignados al archivo final.txt sin importar si se hayan guardado o no como la configuración óptima. Así es como ya se permite al usuario crear el archivo final.txt siempre y cuando haya ingresado alguna frase en el campo de texto.

Una vez que el usuario oprime el botón Regresar del segundo formulario y después el botón Crear archivo, entonces aparece el siguiente mensaje que indica al usuario que el archivo final.txt fue creado.

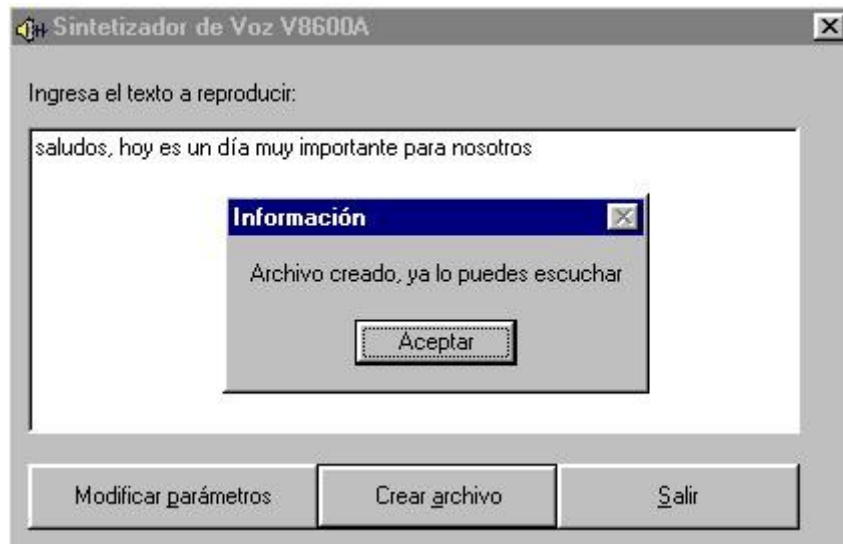


Figura 8.13 Mensaje indicando que el archivo final.txt fue creado satisfactoriamente

Como ya se explico anteriormente, para poder escuchar el contenido del archivo creado, aún se tiene que cargar el diccionario español al Sintetizador de Voz y mandar el archivo final.txt al puerto paralelo de la impresora. Esto se consigue respectivamente mediante la ejecución de los siguientes comandos en el modo MS-DOS.

```
COPY /B SPANISH.DIX PRN  
TYPE FINAL.TXT > PRN
```


8.6 MODIFICACIÓN DEL DICCIONARIO SPANISH.DIX

Debido a que el Sintetizador de Voz es de origen estadounidense, la voz que se obtenía se escuchaba con el acento de una persona estadounidense hablando en español a pesar de que se había cargado el diccionario para este idioma en el V8600A. Esto no era deseable para el sistema final por lo que se tuvo que modificar el diccionario spanish.dix, que es el diccionario que el fabricante proporciona para que Sintetizador de Voz hable en el idioma español.

Para la modificación del diccionario, el fabricante proporciona una herramienta que forma parte de todo un conjunto de aplicaciones disponibles para trabajar con el chip RC8650, que es el chip en el cual está basado el Sintetizador de Voz V8600A. Estas aplicaciones en conjunto reciben el nombre de Double Talk RC8650 Studio. La versión utilizada de estas aplicaciones es la 2.61.0.

En seguida se muestran los fonemas modificados en el diccionario spanish.dix.

Palabra	Fonema original	Fonema nuevo
(au)	aw	aww
(ei)	ei	eii
(ey)\$	ei	e i
(i)#	y	i i

Como se puede observar, sólo se modificaron cuatro sonidos del diccionario. Para ver todas las reglas de pronunciación del diccionario spanish.dix en el apéndice se enlistan todas ellas agrupadas en vocales, consonantes, números, símbolos y letras.

8.7 CALIDAD DE VOZ DEL V8600A

La generación de voz artificial es uno de los grandes problemas en las ciencias de Ingeniería, el problema principal no es la síntesis de voz sino la entonación y naturalidad logradas. Es muy difícil construir máquinas o desarrollar sistemas que hablen con la misma expresividad, naturalidad, rapidez y volumen como cuando un ser humano se comunica con sus semejantes. Esta es la razón por la cual la voz de prácticamente todos estos proyectos se escucha robotizada, es decir, con cierta monotonía. Para este proyecto la voz generada presenta estos mismos problemas pero podemos considerarla aceptable ya que prácticamente todos los mensajes emitidos por medio del sistema se entienden claramente.

CAPÍTULO 9. MEJORA DEL SISTEMA UTILIZANDO UNA PANTALLA DE CRISTAL LÍQUIDO

9.1 PANTALLA DE CRISTAL LÍQUIDO

Para visualizar los datos (información) a la salida de un sistema o aplicación se puede utilizar una pantalla de cristal líquido (LCD), ya que esta permite mostrar símbolos de forma clara en un espacio pequeño y su modo de operar es sencillo, a diferencia de otros componentes como por ejemplo:

- La matriz de leds, la cual ocupa mucho espacio, requiere de más programación y el consumo de energía es bastante.
- Displays de 7 segmentos, que por su estructura no permiten visualizar los símbolos de manera clara, y aunque son más pequeños que una matriz de leds siguen siendo estorbosos, por otro lado su consumo de energía sigue siendo alto.

9.2 FUNCIONAMIENTO Y CARACTERÍSTICAS DE LA PANTALLA DE CRISTAL LÍQUIDO

El funcionamiento de la pantalla de cristal líquido está basado en las características de un material orgánico que tiene propiedades ópticas dentro de un cristal, y con la alineación molecular que es sensible a un campo electromagnético, todo esto dentro de un estado líquido a temperatura ambiente. Una celda de cristal líquido (LC) esta constituida de dos pedazos de vidrio que se cubren con un material de polímero. Éstos vidrios se colocan de tal manera que la superficie interna contenga el fluido del cristal líquido. Entre el vidrio y el recubrimiento, se implantan electrodos transparentes en forma de pixeles o imágenes deseadas. La polarización de la luz es aplicada en la superficie exterior de la celda de cristal líquido para generar el efecto visual.

La celda de cristal líquido es un dispositivo óptico pasivo en el sentido de que no emite luz. Para ser visible, las celdas deben reflejar una luz (modo reflectivo) o también pueden tener una fuente de luz detrás de la celda (modo transmisivo). Una combinación de estos dos modos está también disponible (modo transflectivo). Dependiendo de la opción que se desee ver, una lámina reflectiva o transmitiva se coloca detrás del polarizador. Dependiendo del ángulo que forman el cruce de los ejes en la capa del recubrimiento se pueden tener dos tipos de tecnologías: la tecnología Twisted Nematic (TN) y la tecnología Super Twist (ST). La luz polarizada que viaja a través de una celda de LC es forzada a desviarse y pasar por la capa de polarización trasera (para los productos de TN). Cuando se suministra el voltaje, las moléculas se realinean a través del campo electromagnético y la capa polarizadora trasera bloquea la luz permitiendo que se forme una imagen. El color verde amarillo es resultado de un alto contraste.

Las ventajas de la tecnología ST es su alto contraste, además de que tiene la posibilidad de manejar celdas con alta multiplexibilidad, rápida respuesta en tiempo, y una visión clara en un ángulo vertical. Recientemente una nueva tecnología ha sido diseñada su nombre es Film Super Twist (FSTN). Una delgada capa compensadora de color se agregó para desarrollar un alto contraste en imágenes negras en un fondo blanco. Estas pantallas también son conocidas como "pantallas de página blanca". Despliegan imágenes comparables en calidad a CRT monocromático, pero tienen una mejora debido a que son más pequeños y consumen menos potencia.

9.3 MEJORA DEL SISTEMA TRADUCTOR DE LENGUAJE SEÑAS A VOZ UTILIZANDO UNA PANTALLA DE CRISTAL LÍQUIDO

Las personas que tienen la discapacidad de hablar frecuentemente tienen otra discapacidad, no perciben sonidos, por lo que el Sistema Traductor del Lenguaje de Señas a Voz no les permitiría saber que es lo que realmente dicen, y en el caso de que la seña no fuese reconocida de acuerdo a lo establecido, se emitirían sonidos erróneos, es por eso que se implementó una pantalla de cristal líquido con la que se pueden visualizar las letras y / o palabras que se reconocen. Si por alguna razón la letra o palabra no concuerda con la seña formada se tiene la opción de borrar ésta y entonces se vuelve a formar la seña para reconocerla de nuevo. Esta mejora le permite al usuario tener más control sobre el sistema y éste a su vez tiene un mayor impacto sobre las personas que padecen de ambas discapacidades.

9.4 CARACTERÍSTICAS DE LA PANTALLA DE CRISTAL LÍQUIDO UTILIZADA EN EL SISTEMA

- Basada en el controlador (HD44780).
- Alimentación de 5 volts.
- Corriente máxima de 20 mA.
- Interfaz de 4 u 8 bits.
- Despliegue de 160 caracteres diferentes.

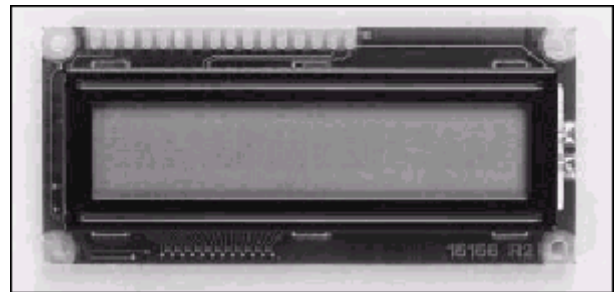


Figura 9.1 Pantalla de cristal líquido.

La pantalla de cristal líquido cuenta con 14 pines, los cuales son descritos en la siguiente tabla:

<i>Pin No.</i>	<i>Señal</i>	<i>Función.</i>
1	GND	Tierra
2	VDD	Suministro de voltaje (+5 volts).
3	VO	Contraste de la LCD
4	RS	“1 Lógico” - Datos “0 Lógico” – Control
5	R / W	Lectura / Escritura
6	E	Habilitación
7	DB0	Bus de Datos. DB0 – DB7 para 8 bits DB4 – DB7 para 4 bits
8	DB1	
9	DB2	
10	DB3	
11	DB4	
12	DB5	
13	DB6	
14	DB7	

Dimensiones:

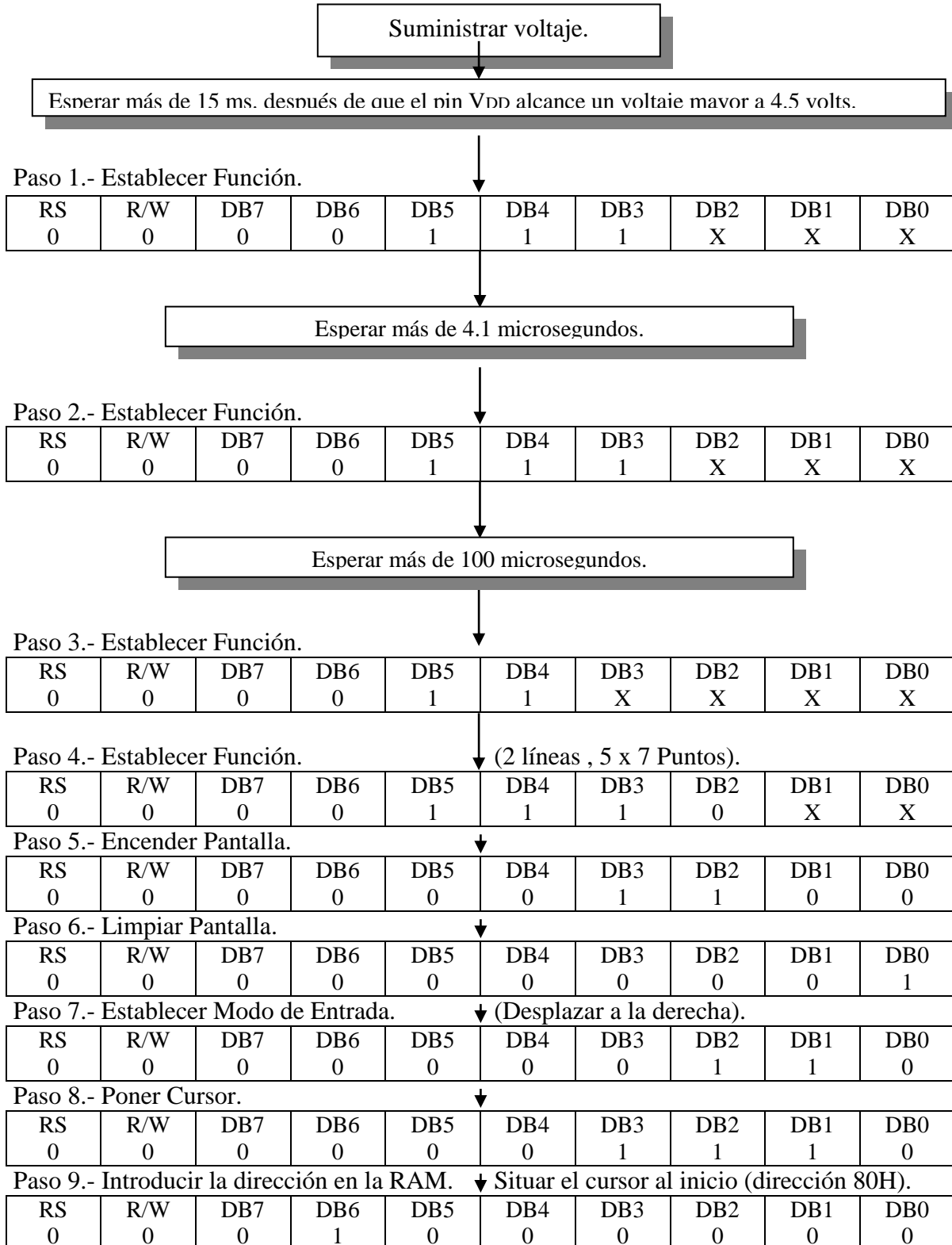
<i>Elemento</i>	<i>Especificación</i>	<i>Unidades</i>
Marco de la Pantalla	80(Ancho) x 36 (Altura) x 11 (Grosor)	mm.
Tamaño del carácter	2.95 (Ancho) x 4.35 (Altura)	mm.
Área de Visualización	64.5 (Ancho) x 13.8 (Altura)	mm.
Tamaño del píxel	0.55 (Ancho) x 0.50 (Altura)	mm.

9.5 IMPLEMENTACIÓN DE LA PANTALLA DE CRISTAL LÍQUIDO AL SISTEMA TRADUCTOR DE LENGUAJE SEÑAS A VOZ

Para el sistema traductor de lenguaje señas a voz se utilizo una pantalla de cristal líquido reconstruida basada en el modelo AND491GST-LED con tecnología ST, teniendo un capacidad de 16 caracteres por cada una de las dos líneas. Por lo que se pueden observar hasta 32 caracteres al mismo tiempo.

La pantalla de cristal líquido está conectada al Sistema Mínimo en modo Extendido únicamente como un periférico de salida por lo que para controlarlo se utiliza el puerto B del microcontrolador 68HC11, interfazado con el PIA y el puerto A. Conectado directamente a la pantalla de cristal líquido, el primer puerto utiliza todos sus pines para enviar bits de datos y de control, y el segundo puerto sólo utiliza el pin A4 para indicar a la pantalla que los bits enviados son de datos (“0” lógico) o de control (“1” lógico) y el pin A5 que habilita la entrada de los bits de control o de datos (“1” lógico).

Al momento de encender el sistema traductor de lenguaje señas a voz, el microcontrolador 68HC11 inicializa la pantalla de cristal líquido enviando bits de control como se muestra en el siguiente diagrama.



Cabe mencionar que los pasos anteriores de inicialización son para utilizar la pantalla de cristal líquido con una interfaz de 8 bits. Terminado el proceso anterior, el microcontrolador realizan otras actividades hasta quedar en modo espera, para comenzar a recibir las señales.

Una vez reconocida la seña, el microcontrolador envía a la pantalla de cristal líquido el código ASCII de la letra o palabra reconocida, transmitiendo una habilitación por el puerto A para cada símbolo enviado. El microcontrolador se encarga de introducir la dirección en la memoria RAM de la pantalla, con el fin de llevar un control de la posición en la que se encuentra el símbolo que se envía a la pantalla, ya que, en caso de haber algún error es necesario borrar el símbolo y situar el cursor en la posición anterior causando el efecto de borrado.

Si una palabra es mayor a 16 caracteres, el microcontrolador está programado para trasladar el cursor a la segunda línea de la pantalla, de esta manera se pueden introducir palabras con una longitud de 32 caracteres sin perder la visibilidad.

PARTE III:

Pruebas y Resultados del Sistema



En esta parte se muestra las características finales del sistema, las placas impresas que se ocuparon así como los resultados que se obtuvieron.

CAPÍTULO 10. RESPUESTA FINAL DEL SISTEMA

10.1 IMPLEMENTACIÓN DE LAS BATERÍAS DENTRO DEL SISTEMA

El sistema requiere de voltaje positivo para alimentar al sistema mínimo, al sintetizador, a la placa del acondicionamiento y al pantalla de cristal líquido, además de voltaje negativo para la placa del acondicionamiento. En la placa del acondicionamiento se utilizan amplificadores operacionales los cuales requieren un voltaje positivo y un voltaje negativo para su funcionamiento, por esta razón es necesario utilizar 2 pilas, una proporciona el voltaje positivo y la otra se invierte para que suministre voltaje negativo.

Después de comparar varias marcas de pilas, se concluyó utilizar pilas de la marca YUASA con el modelo NP1.2-12 las cuales tienen las siguientes características:

<i>Voltaje</i>	<i>Miliamperios / Hora</i>	<i>Dimensiones (mm)</i>	<i>Peso (gramos)</i>	<i>Vida estimada</i>	<i>Composición química</i>
12 voltios	1.2	97 largo x 48 ancho x 50.5 alto	570	4 a 5 años	Ácido – Plomo

Una pila alimenta con +12 voltios a dos reguladores LM7805 los cuales se encargan de reducir el voltaje a +5 voltios para alimentar a los diferentes componentes; la otra pila alimenta con -12 voltios a un regulador LM7905 que este se encarga de aumentar el voltaje a -5 voltios.

El sistema completo consume aproximadamente de 400 a 450 miliamperios, por lo que, teóricamente, con las pilas cargadas completamente, se pueden tener hasta 3 horas de funcionamiento normal, aunque en la práctica se han usado hasta un máximo de 2 horas con 30 minutos. Cuando el sistema se encuentra en modo de reposo (stand by) consume de 150 a 200 miliamperios, aunque prácticamente nunca se ha medido el tiempo en este modo, hemos calculado que las pilas pueden soportar hasta 8 horas.



Figura 10.1 Batería usada para nuestro sistema.

10.2 CIRCUITOS IMPRESOS

A continuación se muestran los circuitos impresos diseñados en Orcad 9.0 para el desarrollo de algunas placas para nuestro sistema.

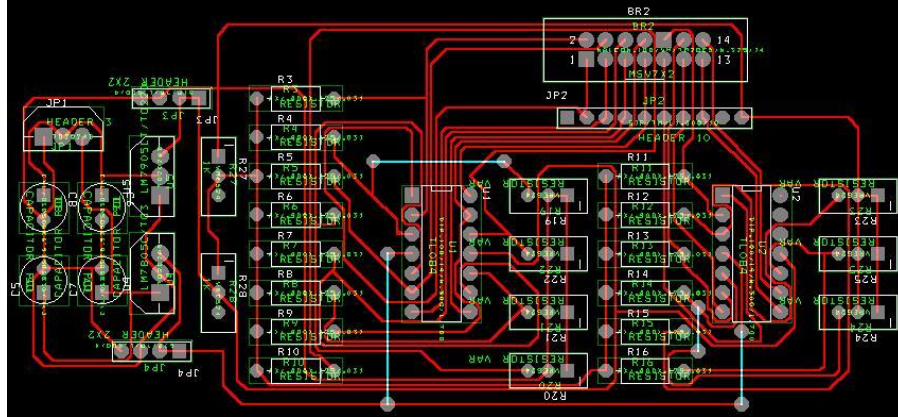


Figura 10.2 Circuito acondicionador de la señal.

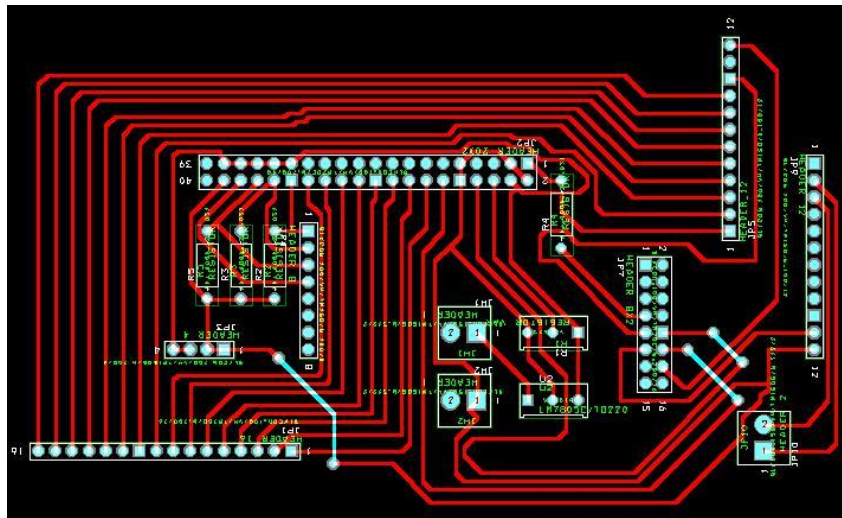


Figura 10.3 Circuito para alimentar la pantalla de cristal líquido y el sintetizador de voz.

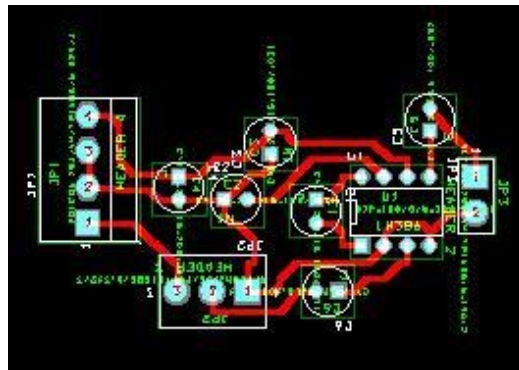
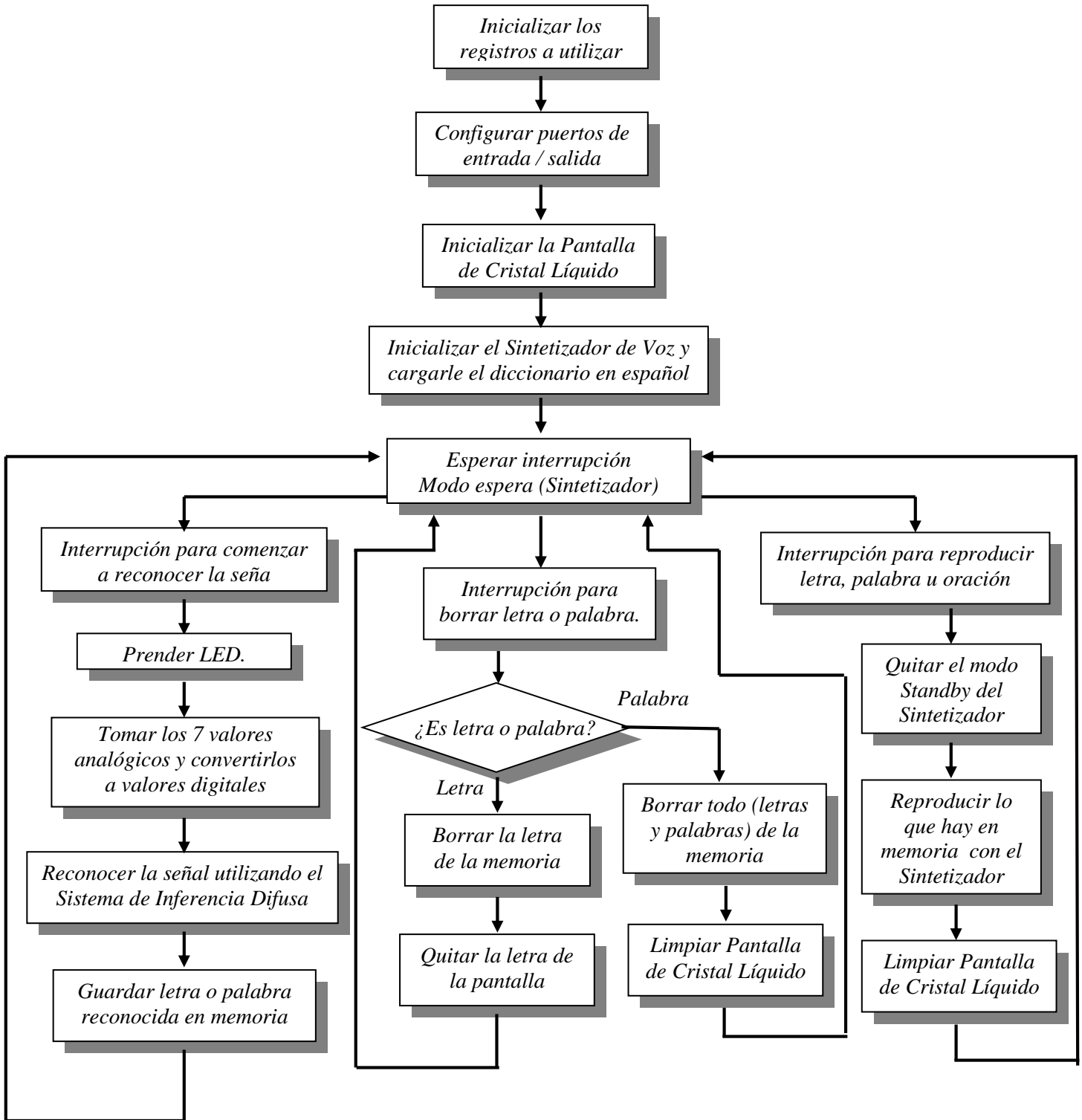


Figura 10.4 Amplificador de audio para el sintetizador de voz

10.3 DIAGRAMA A BLOQUES DEL PROGRAMA EN ENSAMBLADOR



10.4 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA

Nuestro sistema tiene las siguientes características:

- Capacidad para almacenar y visualizar hasta 32 caracteres.
- Velocidad de reconocimiento de señales de 0.25 s, pero la velocidad real depende del usuario, ya que éste es el que se encarga de controlar la velocidad de formación de las señas.
- Maneja un arreglo de baterías para suministrar +/- 12 v.
- Reconocimiento de 22 letras del alfabeto.
- Reconocimiento de 10 palabras.
- Peso aproximado de 2.3 Kg.

10.5 RESTRICCIONES DEL SISTEMA

El sistema traductor del lenguaje de señas a voz reconoce 22 letras y 10 palabras. Se optó por reconocer más letras que palabras, ya que con éstas se pueden formar gran cantidad de palabras, sin embargo, el tiempo para formar cada palabra es mayor que cuando se reconocen palabras ya definidas.

El número de letras que se pueden visualizar en la pantalla de cristal líquido es de 32 letras, por lo que el sistema sólo almacena esta cantidad de símbolos en la memoria. Lo anterior no afecta al sistema ya que no existen palabras de tal longitud pero la restricción radica en que no se pueden formar frases mayores a este tamaño.

Debido a que el sistema está compuesto de circuitos integrados y la caja en la que se encuentran tiene ventilación, no se puede operar el sistema bajo la humedad, además, por las características de los componentes del sistema, éste debe de utilizarse en un intervalo de temperaturas de 0 a 40 grados centígrados.

Como ya se menciono anteriormente, las baterías tienen un tiempo de duración máximo de 2 horas con 30 minutos de forma práctica cuando el sistema está funcionando en su totalidad.

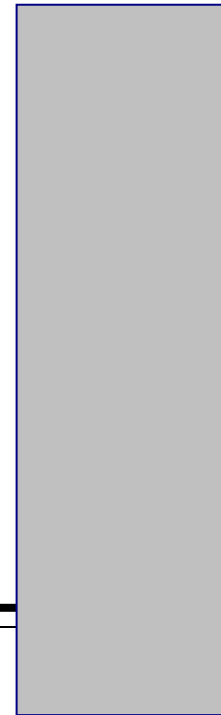
Otra de las restricciones del sistema lo constituye el tamaño del guante ya que las mediciones de los sensores varían dependiendo del tamaño de la mano que tenga el usuario, afectando el reconocimiento de cada una de las señas.

CONCLUSIONES

Hay muchos aspectos que podemos hablar de este trabajo terminal, a continuación describimos los puntos importantes que podemos concluir:

- *Se cumplió con el objetivo planteado en el protocolo.* Es decir, se construyó un sistema portátil para reconocer el lenguaje de señas de los sordomudos por medio de un guante en el cual es usado para formar las señas y de esa manera reconocerlas para posteriormente generar la voz de la seña correspondiente.
- *Se realizó una mejora.* A nuestro sistema se le agregó una pantalla de cristal líquido (LCD) para poder visualizar caracteres de las señas que se están realizando, dependiendo de una letra o palabra que se este haciendo en la pantalla se visualiza dicha letra o palabra, de esta manera las personas que lo usen sabrán si están haciendo las señas correctamente.
- *Uso de un control.* Para que sea un sistema adecuado para muchas personas, se construyó un control con 3 botones y un switch, este último es para pasar del modo letras a palabras o viceversa dependiendo de lo que se quiere decir. Uno de los botones es para *capturar la seña*, no importa el tiempo que nos tardemos en realizar la seña con nuestro brazo, ya que con este botón decidimos cuando queremos que ya reconozca la seña; también hay un botón *regresar*, lo que hace es borrar la seña anterior ya sea un carácter si estamos en el modo letras o toda la cadena de caracteres en el modo palabras, esto es el caso que hayamos realizado mal la seña y por ultimo tenemos el botón *reproducir*, el cual es para generar la voz por medio de una bocina de las señas ya realizadas hasta ese momento.
- *Colaboración con cierto grupo social.* Sabemos por datos del INEGI, que hoy en día existen aproximadamente 262,000 personas con problemas de audición y del habla, por lo que nuestro sistema sería un buen producto al mercado, claro con ciertas mejoras, para crear un puente de comunicación entre estas personas con las demás que lo rodean y así poderse superar en cualquier ramo que ellos quisieran y poder tener una mejor vida y un buen empleo.
- *Facilidad de uso y económico.* Nuestro sistema esta diseñado para que sea fácil de usar, como esta construido en forma de mochila, la persona que lo usa lo podrá llevar a cualquier lugar que vaya, y como usamos el lenguaje de señas de los sordomudos no necesitan aprender otro lenguaje, si no el usar su mismo lenguaje, claro que necesitará de un poco de práctica para adaptarse al guante y a todo el sistema en general. Otro aspecto es el precio, debido a que sabemos que existen guantes comerciales de elevados precios, y componentes electrónicos de precios también muy altos, nosotros tratamos de hacer un económico con respecto a componentes o sistemas que se venden en el mercado.

PARTE IV:



Apéndice Apéndice



En esta última parte se encuentra el material necesario para comprender algunos temas del trabajo como lo son: glosario, el esquema eléctrico del microcontrolador en modo extendido, el diagrama general del sistema, la caracterización de los sensores del guante, las características del Sintetizador de Voz, el diccionario cargado al Sintetizador de Voz y la bibliografía.

A. GLOSARIO

Agregación. Unir cada uno de los conjuntos difusos de las variables de salida obtenidas por la evaluación de las reglas difusas.

Anecoicas. De acústica. Del griego akouein, "oír".

ASCII. Código Americano Normalizado para el Intercambio de Información.

Base de reglas. Conjunto de definiciones que asocian las variables difusas de entrada y de salida con la finalidad de responder de una manera establecida al estímulo de las entradas.

Conjunto Difuso. Conjunto que contiene elementos los cuales varían según su grado de pertenencia dentro del mismo.

Defusificación. Trazar una "línea recta" en algún punto del universo de discurso de la variable de salida, el objetivo de todas las funciones de defusificación es el proceso de encontrar el mejor lugar a lo largo del universo de discurso para trazar esta línea.

Decibeles. Unidad de diferencia de niveles de potencia en las comunicaciones eléctricas.

Discapacidad (minusválido). Que tiene impedida o entorpecida alguna de las actividades cotidianas consideradas normales, por alteración de sus funciones intelectuales o físicas.

Espectrograma. Representación de la señal de voz de acuerdo a las variaciones de la energía, con respecto al tiempo y frecuencia.

Exoesqueleto (dermatoesqueleto). Por fuera de la piel.

Extensiométricas. Que se mide la extensión o flexión.

Fonema. Cada uno de los sonidos simples del lenguaje hablado.

Formantes. Las formantes son las frecuencias en las que ocurre la resonancia de las vibraciones vocales.

Fusificación. Proceso de asignar o calcular un valor que represente un grado de membresía para todos los conjuntos difusos definidos sobre alguna variable de entrada.

Labiofacial. Relativo al rostro y los labios.

LSM. Lenguaje de Signos.

MP3. Sistema de comprensión de audio el cual almacena música con calidad CD en 1/12 del espacio original.

OCR (Optical Code Register, Reconocimiento Óptico de Caracteres). Proceso mediante el cual, a partir de la imagen de un documento se reconocen los caracteres en él contenidos.

Oralistas. Dícese de la persona que se comunica oralmente, o sea que habla. Que se manifiesta o produce con la boca o mediante la palabra hablada.

Realidad virtual. El término realidad virtual fue creado por el investigador Myron Krueger en 1973. En los primeros años de la década de los noventa empezó a conocerse esta tecnología, cuyo objetivo era simular un entorno a través de un ordenador. Dicha simulación además debía ser perceptible por el usuario a través de todos sus sentidos y de una forma similar a la realidad, y no con monitores y altavoces como cualquier otro programa informático. Además de la percepción, la interacción también debía realizarse tal y como se produce en el mundo real, con movimientos, reacciones y distintos puntos de observación.

Resonancia. Cuando un cuerpo es investido por una energía con una longitud de onda igual a la suya (frecuencia de resonancia), la onda que lo encuentra se devuelve por efecto de la reflexión y se suma a la onda siguiente.

Sensoreineural. Relativo de la sensibilidad referente al sistema nervioso.

Sordomudos. Persona que, por ser sordo de nacimiento, no ha aprendido a hablar.

Telepresencia. La telepresencia permite simular la presencia de un operador en un medio ambiente remoto para supervisar el funcionamiento de las tareas en una plataforma remota.

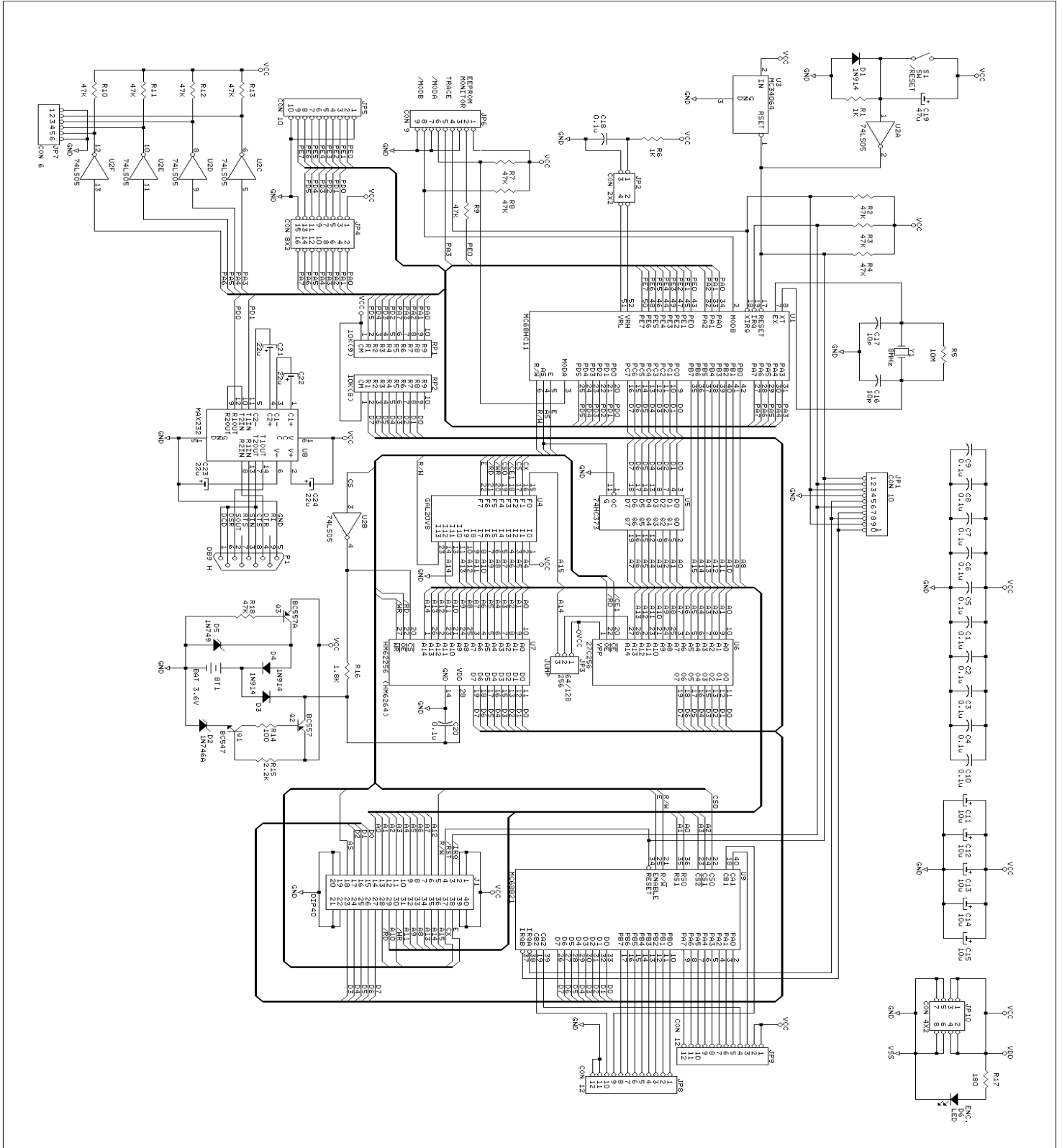
Variable difusa o lingüística. Universo de discurso perteneciente a una entrada o salida, en la que se definen conjuntos difusos, los cuales engloban todos los valores que puede tener ya sea la variable de entrada o de salida.

WAVE (Waveform Audio, Audio ondulatorio). Ficheros de sonido incluidos en el sistema operativo Windows 3.x o Windows 95.

Singleton. Tipo de conjunto difuso, también llamado impulso difuso, el cual se define con un sólo valor con un grado de membresía de 1.

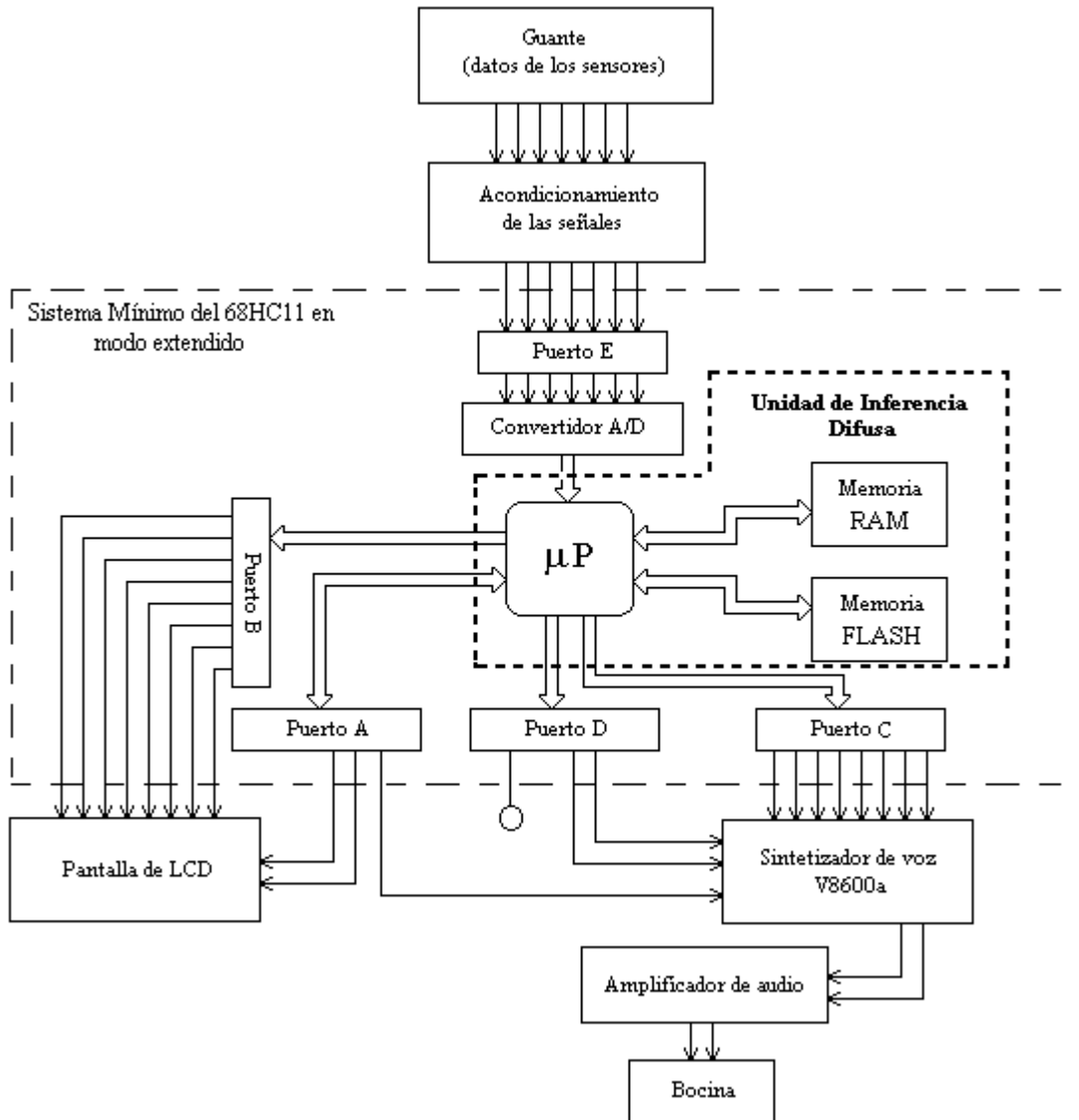
B. ANEXO 1

ESQUEMA ELÉCTRICO DEL SISTEMA MÍNIMO EN MODO EXTENDIDO UTILIZANDO EL μC 68HC11







C. ANEXO 2



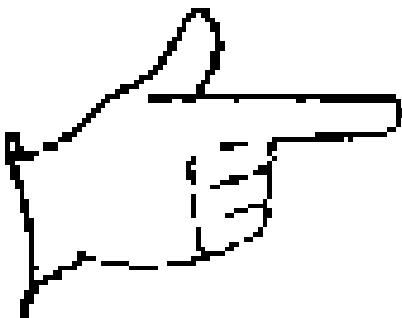

DIAGRAMA GENERAL DEL SISTEMA

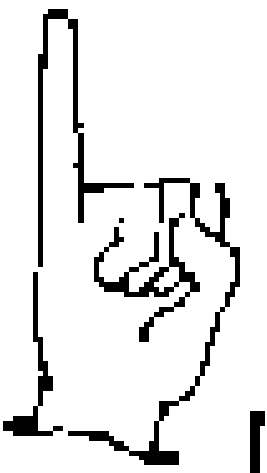
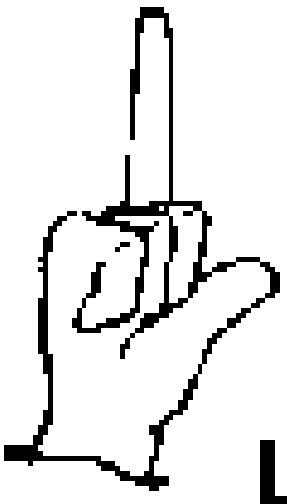





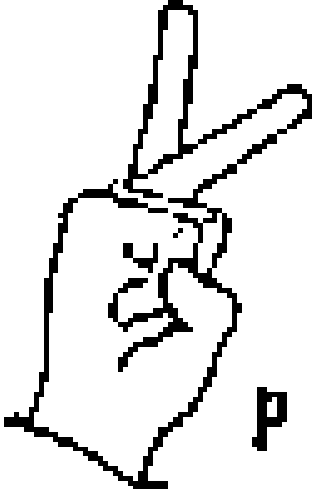


D. ANEXO 3



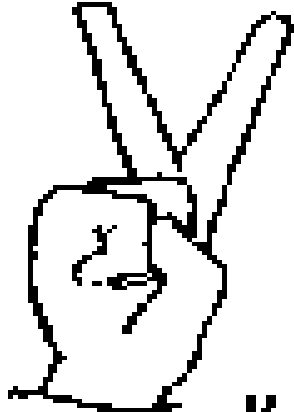
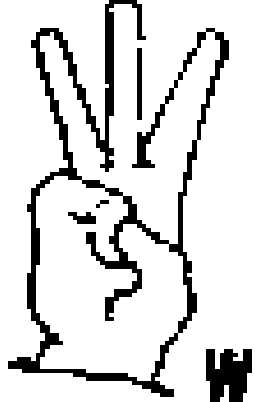
LETRAS Y PALABRAS QUE SE RECONOCEN Y SU TABLA DE VALORES

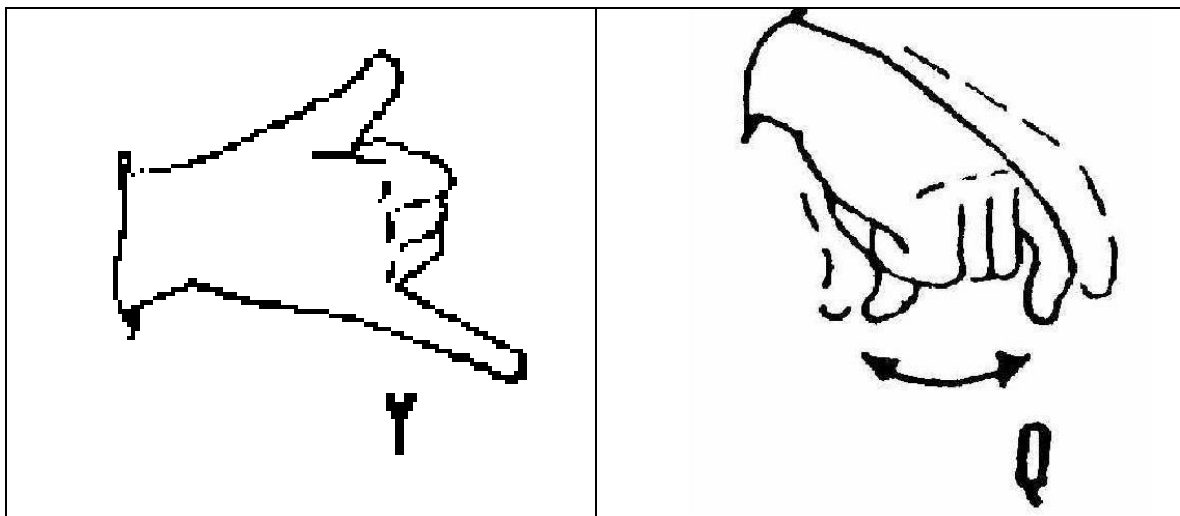
 <p style="text-align: center;">A</p>	 <p style="text-align: center;">B</p>																																																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>MAX</th> <th>MIN</th> <th>PROM</th> <th>VAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MEÑIQUE</td> <td>220</td> <td>169</td> <td>194</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>ANULAR</td> <td>210</td> <td>120</td> <td>165</td> <td>4,5</td> </tr> <tr> <td>MEDIO</td> <td>220</td> <td>154</td> <td>187</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>INDICE</td> <td>210</td> <td>120</td> <td>165</td> <td>4,5</td> </tr> <tr> <td>PULGAR</td> <td>60</td> <td>0</td> <td>30</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>MUÑECA</td> <td>39</td> <td>0</td> <td>21</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>CODO</td> <td>255</td> <td>145</td> <td>200</td> <td>5,4</td> </tr> </tbody> </table>		MAX	MIN	PROM	VAL	MEÑIQUE	220	169	194	5	ANULAR	210	120	165	4,5	MEDIO	220	154	187	5	INDICE	210	120	165	4,5	PULGAR	60	0	30	1,2	MUÑECA	39	0	21	1	CODO	255	145	200	5,4	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>MAX</th> <th>MIN</th> <th>PROM</th> <th>VAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MEÑIQUE</td> <td>33</td> <td>0</td> <td>16</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>ANULAR</td> <td>48</td> <td>0</td> <td>24</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>MEDIO</td> <td>34</td> <td>0</td> <td>17</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>INDICE</td> <td>55</td> <td>0</td> <td>26</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>PULGAR</td> <td>122</td> <td>61</td> <td>91</td> <td>3,4,5</td> </tr> <tr> <td>MUÑECA</td> <td>57</td> <td>17</td> <td>37</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>CODO</td> <td>217</td> <td>169</td> <td>175</td> <td>4</td> </tr> </tbody> </table>		MAX	MIN	PROM	VAL	MEÑIQUE	33	0	16	1	ANULAR	48	0	24	1	MEDIO	34	0	17	1	INDICE	55	0	26	1,2	PULGAR	122	61	91	3,4,5	MUÑECA	57	17	37	1,2	CODO	217	169	175	4
	MAX	MIN	PROM	VAL																																																																													
MEÑIQUE	220	169	194	5																																																																													
ANULAR	210	120	165	4,5																																																																													
MEDIO	220	154	187	5																																																																													
INDICE	210	120	165	4,5																																																																													
PULGAR	60	0	30	1,2																																																																													
MUÑECA	39	0	21	1																																																																													
CODO	255	145	200	5,4																																																																													
	MAX	MIN	PROM	VAL																																																																													
MEÑIQUE	33	0	16	1																																																																													
ANULAR	48	0	24	1																																																																													
MEDIO	34	0	17	1																																																																													
INDICE	55	0	26	1,2																																																																													
PULGAR	122	61	91	3,4,5																																																																													
MUÑECA	57	17	37	1,2																																																																													
CODO	217	169	175	4																																																																													
 <p style="text-align: center;">C</p>	 <p style="text-align: center;">D</p>																																																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>MAX</th> <th>MIN</th> <th>PROM</th> <th>VAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MEÑIQUE</td> <td>95</td> <td>37</td> <td>66</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>ANULAR</td> <td>132</td> <td>36</td> <td>84</td> <td>2,3</td> </tr> <tr> <td>MEDIO</td> <td>126</td> <td>34</td> <td>80</td> <td>2,3</td> </tr> <tr> <td>INDICE</td> <td>90</td> <td>36</td> <td>63</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>PULGAR</td> <td>45</td> <td>0</td> <td>22</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>MUNECA</td> <td>60</td> <td>0</td> <td>30</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>CODO</td> <td>200</td> <td>94</td> <td>147</td> <td>3,4</td> </tr> </tbody> </table>		MAX	MIN	PROM	VAL	MEÑIQUE	95	37	66	2	ANULAR	132	36	84	2,3	MEDIO	126	34	80	2,3	INDICE	90	36	63	2	PULGAR	45	0	22	1	MUNECA	60	0	30	1,2	CODO	200	94	147	3,4	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>MAX</th> <th>MIN</th> <th>PROM</th> <th>VAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MEÑIQUE</td> <td>220</td> <td>169</td> <td>184</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>ANULAR</td> <td>210</td> <td>162</td> <td>186</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>MEDIO</td> <td>166</td> <td>74</td> <td>120</td> <td>3,4</td> </tr> <tr> <td>INDICE</td> <td>48</td> <td>0</td> <td>24</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>PULGAR</td> <td>60</td> <td>0</td> <td>30</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>MUÑECA</td> <td>39</td> <td>0</td> <td>20</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>CODO</td> <td>255</td> <td>175</td> <td>215</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>		MAX	MIN	PROM	VAL	MEÑIQUE	220	169	184	5	ANULAR	210	162	186	5	MEDIO	166	74	120	3,4	INDICE	48	0	24	1	PULGAR	60	0	30	1,2	MUÑECA	39	0	20	1	CODO	255	175	215	5
	MAX	MIN	PROM	VAL																																																																													
MEÑIQUE	95	37	66	2																																																																													
ANULAR	132	36	84	2,3																																																																													
MEDIO	126	34	80	2,3																																																																													
INDICE	90	36	63	2																																																																													
PULGAR	45	0	22	1																																																																													
MUNECA	60	0	30	1,2																																																																													
CODO	200	94	147	3,4																																																																													
	MAX	MIN	PROM	VAL																																																																													
MEÑIQUE	220	169	184	5																																																																													
ANULAR	210	162	186	5																																																																													
MEDIO	166	74	120	3,4																																																																													
INDICE	48	0	24	1																																																																													
PULGAR	60	0	30	1,2																																																																													
MUÑECA	39	0	20	1																																																																													
CODO	255	175	215	5																																																																													

 <p style="text-align: center;">E</p>	 <p style="text-align: center;">F</p>																																																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>MAX</th> <th>MIN</th> <th>PROM</th> <th>VAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MEÑIQUE</td> <td>220</td> <td>169</td> <td>194</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>ANULAR</td> <td>210</td> <td>162</td> <td>186</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>MEDIO</td> <td>220</td> <td>114</td> <td>167</td> <td>4,5</td> </tr> <tr> <td>INDICE</td> <td>174</td> <td>78</td> <td>126</td> <td>3,4</td> </tr> <tr> <td>PULGAR</td> <td>120</td> <td>52</td> <td>86</td> <td>3,4</td> </tr> <tr> <td>MUÑECA</td> <td>73</td> <td>0</td> <td>36</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>CODO</td> <td>255</td> <td>175</td> <td>215</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>		MAX	MIN	PROM	VAL	MEÑIQUE	220	169	194	5	ANULAR	210	162	186	5	MEDIO	220	114	167	4,5	INDICE	174	78	126	3,4	PULGAR	120	52	86	3,4	MUÑECA	73	0	36	1,2	CODO	255	175	215	5	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>MAX</th> <th>MIN</th> <th>PROM</th> <th>VAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MEÑIQUE</td> <td>51</td> <td>0</td> <td>25</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>ANULAR</td> <td>48</td> <td>0</td> <td>24</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>MEDIO</td> <td>86</td> <td>0</td> <td>43</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>INDICE</td> <td>210</td> <td>120</td> <td>165</td> <td>4,5</td> </tr> <tr> <td>PULGAR</td> <td>60</td> <td>0</td> <td>30</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>MUÑECA</td> <td>73</td> <td>0</td> <td>36</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>CODO</td> <td>255</td> <td>175</td> <td>215</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>		MAX	MIN	PROM	VAL	MEÑIQUE	51	0	25	1	ANULAR	48	0	24	1	MEDIO	86	0	43	1,2	INDICE	210	120	165	4,5	PULGAR	60	0	30	1,2	MUÑECA	73	0	36	1,2	CODO	255	175	215	5
	MAX	MIN	PROM	VAL																																																																													
MEÑIQUE	220	169	194	5																																																																													
ANULAR	210	162	186	5																																																																													
MEDIO	220	114	167	4,5																																																																													
INDICE	174	78	126	3,4																																																																													
PULGAR	120	52	86	3,4																																																																													
MUÑECA	73	0	36	1,2																																																																													
CODO	255	175	215	5																																																																													
	MAX	MIN	PROM	VAL																																																																													
MEÑIQUE	51	0	25	1																																																																													
ANULAR	48	0	24	1																																																																													
MEDIO	86	0	43	1,2																																																																													
INDICE	210	120	165	4,5																																																																													
PULGAR	60	0	30	1,2																																																																													
MUÑECA	73	0	36	1,2																																																																													
CODO	255	175	215	5																																																																													
 <p style="text-align: center;">G</p>	 <p style="text-align: center;">H</p>																																																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>MAX</th> <th>MIN</th> <th>PROM</th> <th>VAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MEÑIQUE</td> <td>220</td> <td>169</td> <td>194</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>ANULAR</td> <td>210</td> <td>162</td> <td>186</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>MEDIO</td> <td>220</td> <td>114</td> <td>167</td> <td>3,4</td> </tr> <tr> <td>INDICE</td> <td>48</td> <td>0</td> <td>24</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>PULGAR</td> <td>60</td> <td>0</td> <td>30</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>MUÑECA</td> <td>170</td> <td>97</td> <td>133</td> <td>3,4</td> </tr> <tr> <td>CODO</td> <td>161</td> <td>43</td> <td>102</td> <td>2,3</td> </tr> </tbody> </table>		MAX	MIN	PROM	VAL	MEÑIQUE	220	169	194	5	ANULAR	210	162	186	5	MEDIO	220	114	167	3,4	INDICE	48	0	24	1	PULGAR	60	0	30	1,2	MUÑECA	170	97	133	3,4	CODO	161	43	102	2,3	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>MAX</th> <th>MIN</th> <th>PROM</th> <th>VAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MEÑIQUE</td> <td>220</td> <td>169</td> <td>194</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>ANULAR</td> <td>210</td> <td>162</td> <td>186</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>MEDIO</td> <td>86</td> <td>0</td> <td>43</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>INDICE</td> <td>48</td> <td>0</td> <td>24</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>PULGAR</td> <td>60</td> <td>0</td> <td>30</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>MUÑECA</td> <td>150</td> <td>63</td> <td>106</td> <td>3,4</td> </tr> <tr> <td>CODO</td> <td>161</td> <td>43</td> <td>102</td> <td>2,3</td> </tr> </tbody> </table>		MAX	MIN	PROM	VAL	MEÑIQUE	220	169	194	5	ANULAR	210	162	186	5	MEDIO	86	0	43	1,2	INDICE	48	0	24	1	PULGAR	60	0	30	1,2	MUÑECA	150	63	106	3,4	CODO	161	43	102	2,3
	MAX	MIN	PROM	VAL																																																																													
MEÑIQUE	220	169	194	5																																																																													
ANULAR	210	162	186	5																																																																													
MEDIO	220	114	167	3,4																																																																													
INDICE	48	0	24	1																																																																													
PULGAR	60	0	30	1,2																																																																													
MUÑECA	170	97	133	3,4																																																																													
CODO	161	43	102	2,3																																																																													
	MAX	MIN	PROM	VAL																																																																													
MEÑIQUE	220	169	194	5																																																																													
ANULAR	210	162	186	5																																																																													
MEDIO	86	0	43	1,2																																																																													
INDICE	48	0	24	1																																																																													
PULGAR	60	0	30	1,2																																																																													
MUÑECA	150	63	106	3,4																																																																													
CODO	161	43	102	2,3																																																																													

																																																																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>MAX</th> <th>MIN</th> <th>PROM</th> <th>VAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MENIQUE</td> <td>51</td> <td>0</td> <td>25</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>ANULAR</td> <td>210</td> <td>162</td> <td>186</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>MEDIO</td> <td>200</td> <td>154</td> <td>177</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>INDICE</td> <td>220</td> <td>162</td> <td>110</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>PULGAR</td> <td>155</td> <td>52</td> <td>103</td> <td>3,4</td> </tr> <tr> <td>MUÑECA</td> <td>73</td> <td>0</td> <td>36</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>CODO</td> <td>255</td> <td>175</td> <td>215</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>		MAX	MIN	PROM	VAL	MENIQUE	51	0	25	1	ANULAR	210	162	186	5	MEDIO	200	154	177	5	INDICE	220	162	110	5	PULGAR	155	52	103	3,4	MUÑECA	73	0	36	1,2	CODO	255	175	215	5	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>MAX</th> <th>MIN</th> <th>PROM</th> <th>VAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MENIQUE</td> <td>220</td> <td>169</td> <td>194</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>ANULAR</td> <td>210</td> <td>162</td> <td>186</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>MEDIO</td> <td>220</td> <td>154</td> <td>177</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>INDICE</td> <td>48</td> <td>0</td> <td>24</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>PULGAR</td> <td>60</td> <td>0</td> <td>30</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>MUÑECA</td> <td>73</td> <td>0</td> <td>36</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>CODO</td> <td>255</td> <td>175</td> <td>215</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>		MAX	MIN	PROM	VAL	MENIQUE	220	169	194	5	ANULAR	210	162	186	5	MEDIO	220	154	177	5	INDICE	48	0	24	1	PULGAR	60	0	30	1,2	MUÑECA	73	0	36	1,2	CODO	255	175	215	5
	MAX	MIN	PROM	VAL																																																																													
MENIQUE	51	0	25	1																																																																													
ANULAR	210	162	186	5																																																																													
MEDIO	200	154	177	5																																																																													
INDICE	220	162	110	5																																																																													
PULGAR	155	52	103	3,4																																																																													
MUÑECA	73	0	36	1,2																																																																													
CODO	255	175	215	5																																																																													
	MAX	MIN	PROM	VAL																																																																													
MENIQUE	220	169	194	5																																																																													
ANULAR	210	162	186	5																																																																													
MEDIO	220	154	177	5																																																																													
INDICE	48	0	24	1																																																																													
PULGAR	60	0	30	1,2																																																																													
MUÑECA	73	0	36	1,2																																																																													
CODO	255	175	215	5																																																																													
																																																																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>MAX</th> <th>MIN</th> <th>PROM</th> <th>VAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MENIQUE</td> <td>220</td> <td>169</td> <td>194</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>ANULAR</td> <td>48</td> <td>0</td> <td>24</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>MEDIO</td> <td>46</td> <td>0</td> <td>23</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>INDICE</td> <td>90</td> <td>0</td> <td>45</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>PULGAR</td> <td>60</td> <td>0</td> <td>30</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>MUÑECA</td> <td>150</td> <td>63</td> <td>106</td> <td>2,3</td> </tr> <tr> <td>CODO</td> <td>59</td> <td>0</td> <td>29</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>		MAX	MIN	PROM	VAL	MENIQUE	220	169	194	5	ANULAR	48	0	24	1	MEDIO	46	0	23	1	INDICE	90	0	45	1,2	PULGAR	60	0	30	1,2	MUÑECA	150	63	106	2,3	CODO	59	0	29	1	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>MAX</th> <th>MIN</th> <th>PROM</th> <th>VAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MENIQUE</td> <td>220</td> <td>169</td> <td>194</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>ANULAR</td> <td>210</td> <td>162</td> <td>186</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>MEDIO</td> <td>46</td> <td>0</td> <td>23</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>INDICE</td> <td>90</td> <td>0</td> <td>45</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>PULGAR</td> <td>60</td> <td>0</td> <td>30</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>MUÑECA</td> <td>150</td> <td>63</td> <td>106</td> <td>2,3</td> </tr> <tr> <td>CODO</td> <td>59</td> <td>0</td> <td>29</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>		MAX	MIN	PROM	VAL	MENIQUE	220	169	194	5	ANULAR	210	162	186	5	MEDIO	46	0	23	1	INDICE	90	0	45	1,2	PULGAR	60	0	30	1,2	MUÑECA	150	63	106	2,3	CODO	59	0	29	1
	MAX	MIN	PROM	VAL																																																																													
MENIQUE	220	169	194	5																																																																													
ANULAR	48	0	24	1																																																																													
MEDIO	46	0	23	1																																																																													
INDICE	90	0	45	1,2																																																																													
PULGAR	60	0	30	1,2																																																																													
MUÑECA	150	63	106	2,3																																																																													
CODO	59	0	29	1																																																																													
	MAX	MIN	PROM	VAL																																																																													
MENIQUE	220	169	194	5																																																																													
ANULAR	210	162	186	5																																																																													
MEDIO	46	0	23	1																																																																													
INDICE	90	0	45	1,2																																																																													
PULGAR	60	0	30	1,2																																																																													
MUÑECA	150	63	106	2,3																																																																													
CODO	59	0	29	1																																																																													

 <p style="text-align: center;">Q</p>	 <p style="text-align: center;">P</p>																																																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>MAX</th> <th>MIN</th> <th>PROM</th> <th>VAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MEÑIQUE</td> <td>220</td> <td>169</td> <td>119</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>ANULAR</td> <td>210</td> <td>162</td> <td>186</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>MEDIO</td> <td>200</td> <td>154</td> <td>177</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>INDICE</td> <td>210</td> <td>120</td> <td>165</td> <td>4,5</td> </tr> <tr> <td>PULGAR</td> <td>155</td> <td>52</td> <td>103</td> <td>3,4</td> </tr> <tr> <td>MUÑECA</td> <td>55</td> <td>0</td> <td>27</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>CODO</td> <td>161</td> <td>43</td> <td>102</td> <td>2,3</td> </tr> </tbody> </table>		MAX	MIN	PROM	VAL	MEÑIQUE	220	169	119	5	ANULAR	210	162	186	5	MEDIO	200	154	177	5	INDICE	210	120	165	4,5	PULGAR	155	52	103	3,4	MUÑECA	55	0	27	1	CODO	161	43	102	2,3	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>MAX</th> <th>MIN</th> <th>PROM</th> <th>VAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MEÑIQUE</td> <td>220</td> <td>169</td> <td>119</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>ANULAR</td> <td>210</td> <td>162</td> <td>113</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>MEDIO</td> <td>86</td> <td>0</td> <td>43</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>INDICE</td> <td>55</td> <td>0</td> <td>27</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>PULGAR</td> <td>60</td> <td>0</td> <td>30</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>MUÑECA</td> <td>55</td> <td>0</td> <td>27</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>CODO</td> <td>255</td> <td>175</td> <td>215</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>		MAX	MIN	PROM	VAL	MEÑIQUE	220	169	119	5	ANULAR	210	162	113	5	MEDIO	86	0	43	1,2	INDICE	55	0	27	1	PULGAR	60	0	30	1,2	MUÑECA	55	0	27	1	CODO	255	175	215	5
	MAX	MIN	PROM	VAL																																																																													
MEÑIQUE	220	169	119	5																																																																													
ANULAR	210	162	186	5																																																																													
MEDIO	200	154	177	5																																																																													
INDICE	210	120	165	4,5																																																																													
PULGAR	155	52	103	3,4																																																																													
MUÑECA	55	0	27	1																																																																													
CODO	161	43	102	2,3																																																																													
	MAX	MIN	PROM	VAL																																																																													
MEÑIQUE	220	169	119	5																																																																													
ANULAR	210	162	113	5																																																																													
MEDIO	86	0	43	1,2																																																																													
INDICE	55	0	27	1																																																																													
PULGAR	60	0	30	1,2																																																																													
MUÑECA	55	0	27	1																																																																													
CODO	255	175	215	5																																																																													
 <p style="text-align: center;">R</p>	 <p style="text-align: center;">S</p>																																																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>MAX</th> <th>MIN</th> <th>PROM</th> <th>VAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MEÑIQUE</td> <td>220</td> <td>169</td> <td>194</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>ANULAR</td> <td>210</td> <td>162</td> <td>186</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>MEDIO</td> <td>126</td> <td>34</td> <td>80</td> <td>2,3</td> </tr> <tr> <td>INDICE</td> <td>132</td> <td>36</td> <td>84</td> <td>2,3</td> </tr> <tr> <td>PULGAR</td> <td>88</td> <td>24</td> <td>56</td> <td>2,3</td> </tr> <tr> <td>MUÑECA</td> <td>55</td> <td>0</td> <td>27</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>CODO</td> <td>161</td> <td>43</td> <td>102</td> <td>2,3</td> </tr> </tbody> </table>		MAX	MIN	PROM	VAL	MEÑIQUE	220	169	194	5	ANULAR	210	162	186	5	MEDIO	126	34	80	2,3	INDICE	132	36	84	2,3	PULGAR	88	24	56	2,3	MUÑECA	55	0	27	1	CODO	161	43	102	2,3	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>MAX</th> <th>MIN</th> <th>PROM</th> <th>VAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MEÑIQUE</td> <td>192</td> <td>173</td> <td>182</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>ANULAR</td> <td>199</td> <td>169</td> <td>184</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>MEDIO</td> <td>187</td> <td>103</td> <td>145</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>INDICE</td> <td>183</td> <td>83</td> <td>133</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>PULGAR</td> <td>88</td> <td>24</td> <td>56</td> <td>2,3</td> </tr> <tr> <td>MUÑECA</td> <td>55</td> <td>0</td> <td>27</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>CODO</td> <td>161</td> <td>43</td> <td>102</td> <td>2,3</td> </tr> </tbody> </table>		MAX	MIN	PROM	VAL	MEÑIQUE	192	173	182	5	ANULAR	199	169	184	5	MEDIO	187	103	145	5	INDICE	183	83	133	5	PULGAR	88	24	56	2,3	MUÑECA	55	0	27	1	CODO	161	43	102	2,3
	MAX	MIN	PROM	VAL																																																																													
MEÑIQUE	220	169	194	5																																																																													
ANULAR	210	162	186	5																																																																													
MEDIO	126	34	80	2,3																																																																													
INDICE	132	36	84	2,3																																																																													
PULGAR	88	24	56	2,3																																																																													
MUÑECA	55	0	27	1																																																																													
CODO	161	43	102	2,3																																																																													
	MAX	MIN	PROM	VAL																																																																													
MEÑIQUE	192	173	182	5																																																																													
ANULAR	199	169	184	5																																																																													
MEDIO	187	103	145	5																																																																													
INDICE	183	83	133	5																																																																													
PULGAR	88	24	56	2,3																																																																													
MUÑECA	55	0	27	1																																																																													
CODO	161	43	102	2,3																																																																													

 <p>T</p>	 <p>U</p>																																																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>MAX</th> <th>MIN</th> <th>PROM</th> <th>VAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MEÑIQUE</td> <td>220</td> <td>169</td> <td>194</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>ANULAR</td> <td>210</td> <td>162</td> <td>186</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>MEDIO</td> <td>220</td> <td>114</td> <td>167</td> <td>4,5</td> </tr> <tr> <td>INDICE</td> <td>220</td> <td>120</td> <td>170</td> <td>4,5</td> </tr> <tr> <td>PULGAR</td> <td>155</td> <td>24</td> <td>89</td> <td>2,3</td> </tr> <tr> <td>MUÑECA</td> <td>107</td> <td>63</td> <td>85</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>CODO</td> <td>255</td> <td>175</td> <td>215</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>		MAX	MIN	PROM	VAL	MEÑIQUE	220	169	194	5	ANULAR	210	162	186	5	MEDIO	220	114	167	4,5	INDICE	220	120	170	4,5	PULGAR	155	24	89	2,3	MUÑECA	107	63	85	3	CODO	255	175	215	5	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>MAX</th> <th>MIN</th> <th>PROM</th> <th>VAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MEÑIQUE</td> <td>220</td> <td>169</td> <td>194</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>ANULAR</td> <td>210</td> <td>162</td> <td>186</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>MEDIO</td> <td>55</td> <td>0</td> <td>27</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>INDICE</td> <td>55</td> <td>0</td> <td>27</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>PULGAR</td> <td>60</td> <td>0</td> <td>30</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>MUÑECA</td> <td>55</td> <td>0</td> <td>27</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>CODO</td> <td>200</td> <td>94</td> <td>147</td> <td>3,4</td> </tr> </tbody> </table>		MAX	MIN	PROM	VAL	MEÑIQUE	220	169	194	5	ANULAR	210	162	186	5	MEDIO	55	0	27	1	INDICE	55	0	27	1	PULGAR	60	0	30	1,2	MUÑECA	55	0	27	1	CODO	200	94	147	3,4
	MAX	MIN	PROM	VAL																																																																													
MEÑIQUE	220	169	194	5																																																																													
ANULAR	210	162	186	5																																																																													
MEDIO	220	114	167	4,5																																																																													
INDICE	220	120	170	4,5																																																																													
PULGAR	155	24	89	2,3																																																																													
MUÑECA	107	63	85	3																																																																													
CODO	255	175	215	5																																																																													
	MAX	MIN	PROM	VAL																																																																													
MEÑIQUE	220	169	194	5																																																																													
ANULAR	210	162	186	5																																																																													
MEDIO	55	0	27	1																																																																													
INDICE	55	0	27	1																																																																													
PULGAR	60	0	30	1,2																																																																													
MUÑECA	55	0	27	1																																																																													
CODO	200	94	147	3,4																																																																													
 <p>V</p>	 <p>W</p>																																																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>MAX</th> <th>MIN</th> <th>PROM</th> <th>VAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MEÑIQUE</td> <td>220</td> <td>169</td> <td>194</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>ANULAR</td> <td>210</td> <td>162</td> <td>186</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>MEDIO</td> <td>55</td> <td>0</td> <td>27</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>INDICE</td> <td>55</td> <td>0</td> <td>27</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>PULGAR</td> <td>88</td> <td>0</td> <td>44</td> <td>1,2,3</td> </tr> <tr> <td>MUÑECA</td> <td>55</td> <td>0</td> <td>27</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>CODO</td> <td>60</td> <td>0</td> <td>30</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>		MAX	MIN	PROM	VAL	MEÑIQUE	220	169	194	5	ANULAR	210	162	186	5	MEDIO	55	0	27	1	INDICE	55	0	27	1	PULGAR	88	0	44	1,2,3	MUÑECA	55	0	27	1	CODO	60	0	30	1	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>MAX</th> <th>MIN</th> <th>PROM</th> <th>VAL</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>MEÑIQUE</td> <td>220</td> <td>169</td> <td>194</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>ANULAR</td> <td>55</td> <td>0</td> <td>27</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>MEDIO</td> <td>55</td> <td>0</td> <td>27</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>INDICE</td> <td>55</td> <td>0</td> <td>27</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>PULGAR</td> <td>60</td> <td>0</td> <td>30</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>MUÑECA</td> <td>55</td> <td>0</td> <td>27</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>CODO</td> <td>255</td> <td>175</td> <td>215</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>		MAX	MIN	PROM	VAL	MEÑIQUE	220	169	194	5	ANULAR	55	0	27	1	MEDIO	55	0	27	1	INDICE	55	0	27	1	PULGAR	60	0	30	1,2	MUÑECA	55	0	27	1	CODO	255	175	215	5
	MAX	MIN	PROM	VAL																																																																													
MEÑIQUE	220	169	194	5																																																																													
ANULAR	210	162	186	5																																																																													
MEDIO	55	0	27	1																																																																													
INDICE	55	0	27	1																																																																													
PULGAR	88	0	44	1,2,3																																																																													
MUÑECA	55	0	27	1																																																																													
CODO	60	0	30	1																																																																													
	MAX	MIN	PROM	VAL																																																																													
MEÑIQUE	220	169	194	5																																																																													
ANULAR	55	0	27	1																																																																													
MEDIO	55	0	27	1																																																																													
INDICE	55	0	27	1																																																																													
PULGAR	60	0	30	1,2																																																																													
MUÑECA	55	0	27	1																																																																													
CODO	255	175	215	5																																																																													



	MAX	MIN	PROM	VAL
MENIQUE	55	0	27	1
ANULAR	210	162	187	5
MEDIO	200	154	177	5
INDICE	210	162	113	5
PULGAR	45	0	22	1
MUÑECA	73	0	36	1,2
CODO	255	175	215	5

	MAX	MIN	PROM	VAL
MENIQUE	220	169	194	5
ANULAR	220	169	194	5
MEDIO	220	114	167	4,5
INDICE	55	0	26	1,2
PULGAR	39	0	21	1
MUÑECA	57	17	37	1,2
CODO	59	0	29	1

FALSO



	MAX	MIN	PROM	VAL
MENIQUE	51	0	25	1
ANULAR	48	0	24	1
MEDIO	86	0	43	1,2
INDICE	210	120	165	4,5
PULGAR	60	0	30	1,2
MUÑECA	73	0	36	1,2
CODO	255	175	215	5

AYER



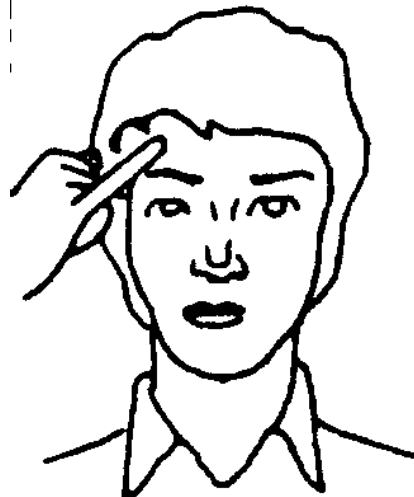
	MAX	MIN	PROM	VAL
MENIQUE	220	169	194	5
ANULAR	210	120	165	4,5
MEDIO	220	154	187	5
INDICE	210	120	165	4,5
PULGAR	60	0	30	1,2
MUÑECA	39	0	21	1
CODO	255	145	200	5,4

LOCO



	MAX	MIN	PROM	VAL
MENIQUE	220	169	194	5
ANULAR	210	162	186	5
MEDIO	220	154	177	5
INDICE	48	0	24	1
PULGAR	60	0	30	1,2
MUÑECA	73	0	36	1,2
CODO	255	175	215	5

INDIGENA



	MAX	MIN	PROM	VAL
MENIQUE	51	0	25	1
ANULAR	210	162	186	5
MEDIO	200	154	177	5
INDICE	220	162	110	5
PULGAR	155	52	103	3,4
MUÑECA	73	0	36	1,2
CODO	255	175	215	5

TELÉFONO



	MAX	MIN	PROM	VAL
MENIQUE	55	0	27	1
ANULAR	210	162	187	5
MEDIO	200	154	177	5
INDICE	210	162	113	5
PULGAR	45	0	22	1
MUÑECA	73	0	36	1,2
CODO	255	175	215	5

DICIEMBRE



	MAX	MIN	PROM	VAL
MENIQUE	220	169	184	5
ANULAR	210	162	186	5
MEDIO	166	74	120	3,4
INDICE	48	0	24	1
PULGAR	60	0	30	1,2
MUÑECA	39	0	20	1
CODO	255	175	215	5

VIERNES



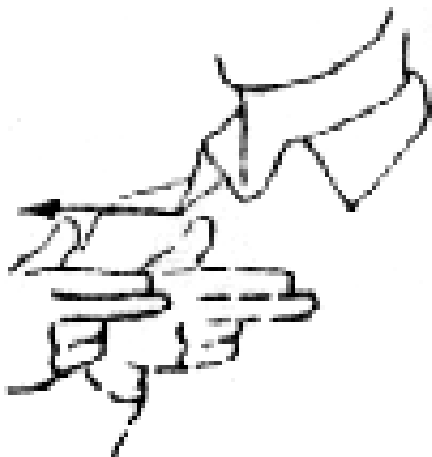
SABADO



	MAX	MIN	PROM	VAL
MEÑIQUE	220	169	194	5
ANULAR	210	162	186	5
MEDIO	55	0	27	1
INDICE	55	0	27	1
PULGAR	88	0	44	1,2,3
MUÑECA	55	0	27	1
CODO	60	0	30	1

	MAX	MIN	PROM	VAL
MEÑIQUE	192	173	182	5
ANULAR	199	169	184	5
MEDIO	187	103	145	5
INDICE	183	83	133	5
PULGAR	88	24	56	2,3
MUÑECA	55	0	27	1
CODO	161	43	102	2,3

HOTEL



POLITÉCNICO



	MAX	MIN	PROM	VAL
MEÑIQUE	220	169	194	5
ANULAR	210	162	186	5
MEDIO	86	0	43	1,2
INDICE	48	0	24	1
PULGAR	60	0	30	1,2
MUÑECA	150	63	106	3,4
CODO	161	43	102	2,3

	MAX	MIN	PROM	VAL
MEÑIQUE	220	169	119	5
ANULAR	210	162	113	5
MEDIO	86	0	43	1,2
INDICE	55	0	27	1
PULGAR	60	0	30	1,2
MUÑECA	55	0	27	1
CODO	255	175	215	5

E. ANEXO 4

SINTETIZADOR DE VOZ V8600A

Características

- Alta calidad de voz, vocabulario ilimitado
- Convierte automáticamente cualquier texto ASCII a voz
- Agrega / modifica mensajes por edición de un archivo de texto
- Requiere de una fuente de alimentación de +5 volts
- Requiere de una bocina de 500 mW y 8 Ω
- Saludo programable y parámetros predeterminados
- Soporte para las excepciones de los diccionarios
- Buffer de entrada de 2 KB
- Software de control para todos los parámetros de voz
- Reproducción de archivos de sonido pre-grabados y en tiempo real
- Generador de tonos musical
- Diseño CMOS y compatible con TTL
- Bajo consumo: 110 mW cuando trabaja, 5 mW cuando no trabaja y 250 μ W cuando está en modo stand by
- Tres interfaces de uso:
 - Microprocesador
 - Puerto paralelo (computadora)
 - Puerto serial (computadora)

Aplicaciones

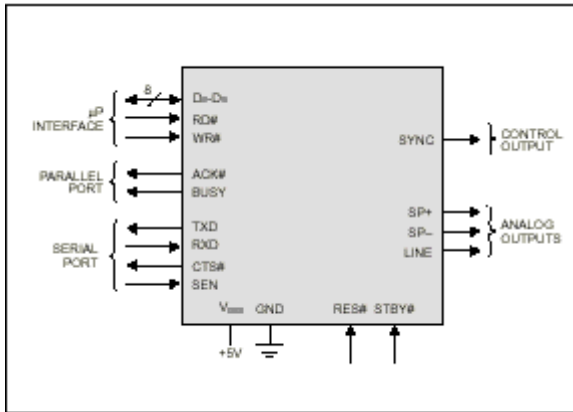
- Robótica
- Sistemas OCR
- E-mail / Telecomunicaciones
- Reporte de diagnósticos remoto
- Controladores industriales
- Pruebas y mediciones electrónicas
- Sistemas preventivos y de seguridad
- Asistencia para personas oral y visualmente deshabilitadas

Descripción General

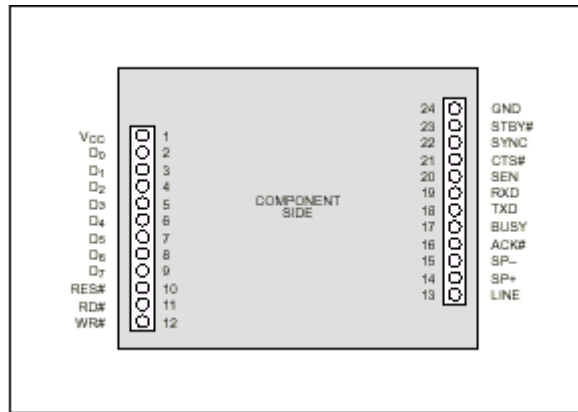
El V8600A es un Sintetizador de Voz basado en el chip DoubleTalk RC8650 de RC Systems. El V8600A convierte automáticamente texto ASCII en voz masculina de alta calidad. Sólo se requiere de una alimentación de 5 volts y una bocina para su operación.

El V8600A está diseñado para controlarse mediante 24 pines (2 líneas de headers de 12 pines). Un bus de datos de 8 bits bidireccional y pines de control de lectura/escritura permiten fácilmente conectar al V8600A con el bus de datos de prácticamente cualquier microprocesador. Aplicaciones específicas también son posibles con el V8600A construidas en los puertos serial y paralelo de computadoras.

Para información adicional acerca del uso y la programación del V8600A, referirse al manual de usuario DoubleTalk RC8650 Chipset disponible en <http://www.rcsys.com>.



Símbolo lógico



Configuración de los pines

Definición de los pines

- **VCC.** Suministro de energía. Voltaje de +5 v, $\pm 10\%$.
- **D₀ – D₇.** Bus de datos. Estos pines forman un bus de 8 datos bidireccional entre el V8600A y la PC.
- **RES#.** Reset. Un cero en este pin fuerza a un reset de hardware: la producción de habla es detenida inmediatamente, el buffer de entrada es limpiado y tanto las banderas como los parámetros de voz cambian a sus valores predeterminados.
- **RD#.** Read. Este pin es usado para transferir información del estado del V8600A vía el bus de datos. Un bajo en este pin encamina el estado sobre el bus de datos y conecta los drivers de salida. RD# contiene un resistor interno que podría ser desconectado.
- **WR#.** Write. Este pin es usado para transferir datos al V8600A vía el bus de datos.
- **LINE.** Línea. Este pin suministra una señal de audio de bajo nivel para conectarse a un filtro pasabajas o a un circuito amplificador.
- **SP+, SP-.** Speaker. Estos pines proveen una señal de audio filtrada capaz de manejar 500 mW en una bocina de 8 Ω . La salida es una función del control del volumen y del comando de volumen (nV).
- **ACK#.** Acknowledge. Este pin produce un pulso de 9 μ s después de cada escritura exitosa en el V8600A a través del bus de datos (D0 – D7).

- **BUSY.** Busy. Este pin está en bajo cuando el V8600A está listo para aceptar datos. BUSY pasa momentáneamente a un estado alto después de una operación de escritura a través del bus de datos reconociendo los caracteres que se reciben. Si el buffer de entrada se llena por completo como resultado de una operación de escritura, BUSY permanecerá en un estado alto hasta que haya espacio suficiente en el buffer.
- **TXD.** Transmit Data. Este pin transfiere datos seriales empezando por el bit menos significativo.
- **RXD.** Receive Data. El V8600A recibe datos seriales por este pin. Primero recibe el bit menos significativo. RXD contiene un resistor interno que podría ser desconectado.
- **SEN.** Serial Enable. Este pin es usado para habilitar el chip RS-232 transceptor en el V8600A PCB. Al poner un bajo en este pin se cae el chip transceptor reduciendo el consumo de potencia. SEN podría estar desconectada si la opción transceptor no está instalada.
- **CTS#.** Clear to Send. Este pin está en bajo cuando el V8600A está listo para aceptar datos. CTS# va a un estado alto momentáneamente después de que un carácter es recibido vía el pin RXD, reconociendo el recibimiento de cada carácter. Si el buffer de entrada se llena como resultado del último carácter recibido, CTS# permanecerá en alto.
- **SYNC.** Sync. Este pin normalmente está en alto cuando el V8600A está activo (produciendo salida). Puede ser usado para controlar dispositivos externos como un transmisor o un DAA telefónico. Referirse al manual de usuario DoubleTalk RC8650 Chipset para mayores detalles.
- **STBY#.** Standby. Esta es un pin de doble función que puede ser usado para llevar al V8600A al modo standby o inicializar su memoria interna. Si se tiene a este pin por 250 ms o más, el V8600A entra al modo standby. Todas las líneas handshake son llevada a sus estados falsos (no listos), y el V8600A requiere de una mínima corriente (50 μ A). Durante el modo standby el V8600A no está listo para permitir entradas de los pines, excepto la del pin STBY# y RES#. Regresar un alto a este pin origina que el V8600A entre a un modo ocioso; las líneas handshake son re-habilitadas y el V8600A está listo para recibir datos nuevamente. Si el V8600A no está en el modo standby, llevar STBY# a un estado bajo por menos de 250 ms inicializa la memoria interna del V8600A. Cualquier diccionario o mensaje de saludo cargado es borrado y todos los parámetros de la voz son llevados a sus valores predeterminados. El V8600A anuncia su número de versión por medio de la bocina y los pines Line.
- **GND.** Ground. Este pin debe conectarse a tierra.

Diagrama a bloques

La descripción funcional del Sintetizador de Voz se explica auxiliándose del siguiente diagrama a bloques.

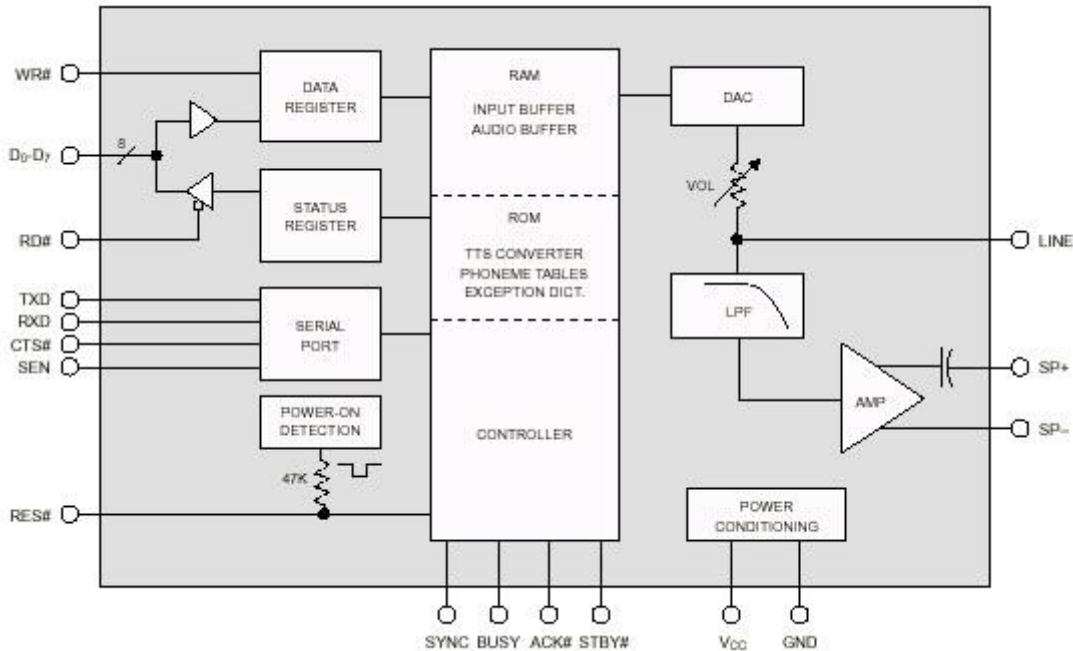


Diagrama a bloques

- **Data Register.** Es un registro de 8 bits en el cual se escriben tanto el texto en ASCII y los comandos desde el bus de datos (D₀-D₇). Un microprocesador puede escribir datos en este registro colocándolos en el Bus de Datos y controlando la señal Write (pin número 12) que se explica más adelante.
- **Status Register.** Este registro de 8 bits contiene el estado de las banderas del V8600A. Estos valores pueden leerse a través del pin Read (RD#).
- **Serial Port.** El puerto serial provee una liga bidireccional entre el V8600A y dispositivos seriales como el puerto RS-232 de la computadora. El puerto serial trabaja con 8 bits de datos, 1 o más bits de paro, no paridad y cualquier velocidad de baudios estándar entre 300 y 115200 bps. El V8600A determina cual velocidad utilizar para medir la duración del más corto alto o bajo periodo del primer carácter recibido en el pin RXD. La velocidad también puede ser establecida por medio de tres jumpers en el PCB del V8600A.
- **Controller.** Es responsable del procesamiento del texto y comandos y de convertir el texto de entrada en habla.
- **ROM.** La ROM contiene un sistema de operación interno y los algoritmos texto-habla.

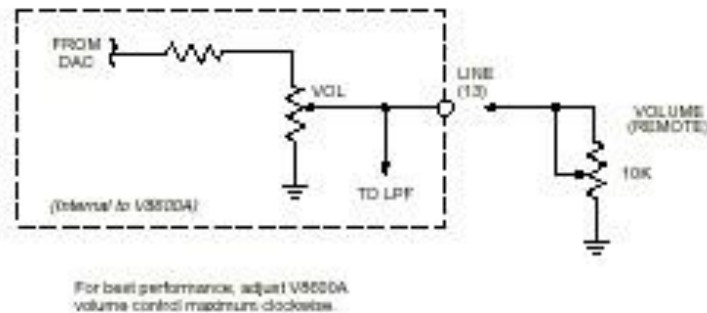
- RAM. Una memoria RAM estática de 4K X 8 permite el almacenamiento para el buffer de entrada del texto, y 1K para el buffer de muestras de audio para el convertidor digital a analógico DAC. Aproximadamente 2 Kb son disponibles para el buffer de entrada.
- DAC, LPF. Un convertidor digital a analógico de 8 bits convierte las muestras de habla digital del Controller en señales analógicas bajas que son enviadas a la entrada de un filtro antialiasing pasa-bajas. La frecuencia de corte de este filtro es de 3.5 kHz.
- Amp. El amplificador toma la señal del filtro pasa-bajas y eleva la potencia a un nivel suficiente para manejar una bocina de 8 Ω .

Interfaz con el puerto paralelo

En la interfaz con el puerto paralelo, la salida STB# del puerto paralelo de la computadora se conecta directamente con el pin WR# del V8600A. Los pines ACK# y BUSY del V8600A sirven como señales de handshaking con la computadora. No es usualmente necesario utilizar ambas señales de handshaking debido a que transmiten la misma información (BUSY es utilizada por convención). En esta configuración, la computadora simplemente imprime el texto ASCII para ser hablado por el V8600A.

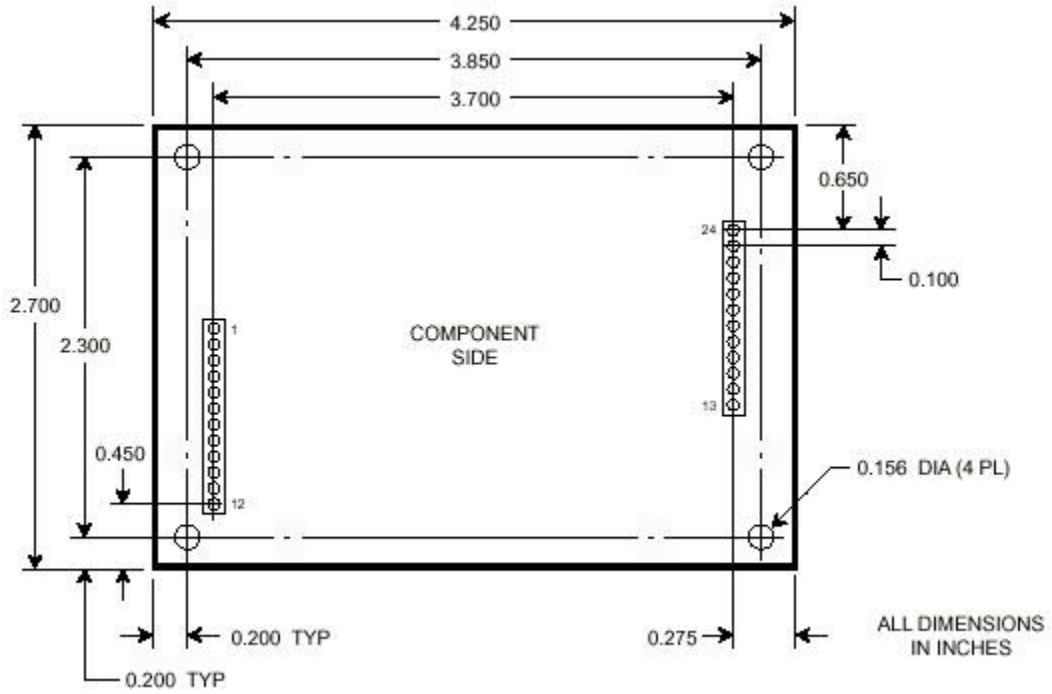
Control del volumen

Aunque el V8600A no tiene un control de volumen puede tenerse uno por la conexión de un potenciómetro de 10 K Ω entre el pin Line y tierra.

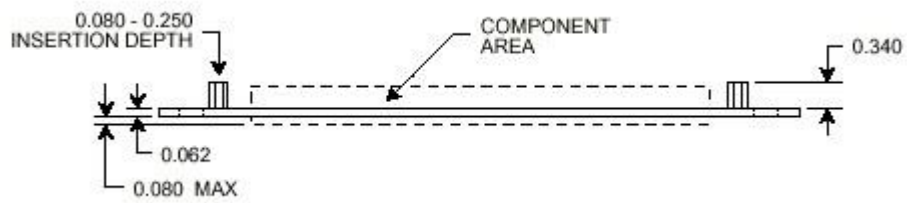


Control de volumen

Características físicas



Dimensiones (vista de arriba)



Dimensiones (vista lateral)

Sumario de comandos

Comando	Función	n	Valor predeterminado
Na	Articulación	0-9	5
nB	Filtro de puntuación	0-15	6
C/nC	Modo carácter / delay	0-31	0
D	Modo fonema	-	-
E/nE	Entonación	0-9	5
nF	Frecuencia formante	0-9	5
nG	Registro de protocolo de opciones	0-255	128
nH	Velocidad en baudios	0-10	-
nI	Marcador índice	0-99	-
J/nJ	Generador de tonos musical/sinusoidal	0-99	-
nK	Pin de control TS	0-3	1
L	Cargar excepciones de diccionario	-	-
M	Monotonía	-	-
nN	Registro de control de audio	0-255	0
nO	Voz	0-7	0
nP	Pitch	0-99	50
nQ	Standby	0-31	0
nR	Eco	0-9	0
nS	Rapidez	0-9	2
T/nT	Modo texto / delay	0-15	0
U	Habilitar excepciones de diccionario	-	-
nV	Volumen	0-9	5
W	Escribir mensaje de saludo	255	-
nX	Tono	0-2	1
nY	Retraso de interrupción	0-15	0
Z	Comandos Zap	-	-
@	Reinicializar	-	-
n*	Generador DTMF	0-16	-
n# / n%	Reproducción de audio en tiempo real	0-99	-
n&	Reproducción de audio pre-grabado	0-9999	-
n\$	Registro de control ADC	0-255	-
n?	Chipset ID / interrogación	6/12	-

Diccionario Spanish.dix (modificado)

; SPANISH.DIC
;
; Spanish pronunciation rules for DoubleTalk
; Copyright 1985, 1993, 2001, RC Systems, Inc.
; Uses the ANSI/ISO character set.

; * TEXT MODE RULES *

; Vowels:

;

(ai)=ay
(aí)=a y i
(ay)\$=ay
(au)=aww
(á)=a
(a)=a

(ei)=eii
(ey)\$=e i
(e)r^=e
(é)=ei
(e)=ei

(i)y=i
(i)#=i i
(í)=i
(i)=i

(oi)=oy
(oy)\$=oy
(ó)=o
(o)=o

g(u)+=
(u)y=u
r(u)=u
r(ü)=u
(u)#=w
(ü)#=w
(ú)=u
(ü)=u
(u)=u

; Consonants:

;

\$(b)\$=b ei

(b)=b

\$(c)\$=s ei

(ch)=ch

(c)+=s

(c)=k

\$(d)\$=d ei

\$(d)\$=d

l(d)=d

n(d)=d

(d)=dh

\$(f)\$=ei f ei

(f)=f

\$(g)\$=h ei

(g)+=h

(g)=g

\$(h)\$=a ch ei

(h)=

\$(j)\$=hota

(j)=h

\$(k)\$=k a

(k)=k

\$(l)\$=ei y ei

\$(l)\$=ei l ei

(ll)=y

(l)=l

\$(m)\$=ei m ei

(m)m=

(m)\$=n

(m)=m

\$(n)\$=ei n ei

\$(ñ)\$=ei ny ei

(ñ)=ny

(n)b=m

(n)v=m

(n)p=m
(n)f=m
(n)c=ng
(n)q=ng
(n)g=ng
(n)j=ng
(n)n=
(n)=n

\$(p)\$=p ei
(p)=p

\$(q)\$=k u
(qu)=k
(q)=k

\$(r)\$=ei rr ei
(r)\$=dx r
(rr)=rr r
\$(r)=rr r
l(r)=rr r
n(r)=rr r
s(r)=rr r
(r)=rr

\$(s)\$=ei s ei
(s)?=z
(s)=s

\$(t)\$=t ei
(t)=t

\$(v)\$=v ei
(v)=v

\$(w)\$=d o b l ei v ei
(w)=w

\$(x)\$=ei k i s
me(x)ic=h
te(x)as=h
(x)#=k s
(x)=s

\$(y)\$=i
(y)=y

\$(z)\$=s e i t a

(z)=s

; Numbers:

;

\(0)=

(0)\=

(0)=s e i r r o

(10000)=d y e i s m i l

(1)\|\|=u n o

(1)\|=m i l

(1)\|=s y e i n t o

(10)=d y e i s

(11)=o n s e i

(12)=d o s e i

(13)=t r r e i s e i

(14)=k a t o r r s e i

(15)=k i n s e i

(16)=d y e i s i s e i s

(17)=d y e i s i s y e i t e i

(18)=d y e i s i o c h o

(19)=d y e i s i n w e i v e i

(1)=uno

(2)\|\|=d o s

(2)\|=d o s m i l

(2)\|=d o s s y e i n t o s

(20)=v e i n t e i

(2)\=v e i n t e i

(2)=d o s

(3)\|\|=t r r e i s

(3)\|=t r r e i s m i l

(3)\|=t r r e i s s y e i n t o s

(30)=t r r e i n t a

(3)\=t r r e i n t a

(3)=t r r e i s

(4)\|\|=k w a t r r o

(4)\|=k w a t r r o m i l

(4)\|=k w a t r r o s y e i n t o s

(40)=k w a r r e i n t a

(4)\=k w a r r e i n t a

(4)=k w a t r r o

(5)\|\|=s i n g k o
 (5)\|=s i n g k o m i l
 (5)\|=k i n y e i n t o s
 (50)=s i n g k w e i n t a
 (5)=s i n g k w e i n t a i
 (5)=s i n g k o

(6)\|\|=s e i s
 (6)\|=s e i s m i l
 (6)\|=s e i s s y e i n t o s
 (60)=s e i s e i n t a
 (6)=s e i s e i n t a i
 (6)=s e i s

(7)\|\|=s y e i t e i
 (7)\|=s y e i t e i m i l
 (7)\|=s e i t e i s y e i n t o s
 (70)=s e i t e i n t a
 (7)=s e i t e i n t a i
 (7)=s y e i t e i

(8)\|\|=o c h o
 (8)\|=o c h o m i l
 (8)\|=o c h o s y e i n t o s
 (80)=o c h e i n t a
 (8)=o c h e i n t a i
 (8)=o c h o

(9)\|\|=n w e i v e i
 (9)\|=n w e i v e i m i l
 (9)\|=n o v e i s y e i n t o s
 (90)=n o v e i n t a
 (9)=n o v e i n t a i
 (9)=n w e i v e i

; Misc. characters:

;
 \$()=
 ()=
 \(-)\|=
 (-)\|=n e i g a t i v o
 (-).\|=n e i g a t i v o
 (-)=
 (+)=m a s
 (#)=n u m e i r r o
 (\$) =d o l a r r e i s
 (=)=i g u a l a

(^)=
(_)=
(|)=
(´)=
({)=
(})=
(l)=
(j)=
(“)=
(<)=
(>)=
(~)=
(&)=i
(*)=
(:)=.
(;)=,
(,)=,
(.)\=p u n t o
(.)=.
(?)=.
(!)=.

; * CHAR MODE RULES *

; Letters:
;
(a)=a
(b)=b ei
(ch)=ch ei
(c)=s ei
(d)=d ei
(e)=ei
(é)=ei
(f)=ei f ei
(g)=h ei
(h)=a ch ei
(i)=i
(í)=i
(j)=h o t a
(k)=k a
(ll)=ei y ei
(l)=ei l ei
(m)=ei m ei
(ñ)=ei ny ei
(n)=ei n ei
(o)=o
(ó)=o

(p)=p ei
(q)=k u
(r)=ei rr ei
(s)=ei s ei
(t)=t ei
(u)=u
(ú)=u
(v)=v ei
(w)=d o b l ei v ei
(x)=ei k i s
(y)=i g rr y ei g a
(z)=s ei t a

; Numbers:

;

(0)=s ei rr o
(1)=u n o
(2)=d o s
(3)=t rr ei s
(4)=k w a t rr o
(5)=s i ng k o
(6)=s ei s
(7)=s y ei t ei
(8)=o ch o
(9)=n w ei v ei

; Misc. characters:

;

(-)=g i o n
(+)=s u m a
(#)=s i g n o n u m e i r r i k o
(\$)=s i g n o d e i d o l a r
(%)=p o r r s y e i n t o
(=)=i g u a l d a d
(^)=p u n t a
(_)=s u b r r a y a d o
(|)=b a r r a v e r r t i k a l
(´)=a p o s t r r o f e i
({})=a b r r e i y a v e i
{}=s y e i r r r a y a v e i
(l)=k o r r c h e i t e i i s k y e i r r d o
(j)=k o r r c h e i t e i d e i r r e i c h o
(“)=k o m i y a s
(<)=m e i n o r r k e i
(>)=m a y o r r k e i
(~)=t i l d e i
(*)=a s t e i r r i s k o

(:)=dos puntos
(;)=punto i koma
(,)=koma
(.)=punto
(?)=inteirrogasion
(!)=ei ksklamasion
(/)=lineia diagonal

F. BIBLIOGRAFÍA

Libros:

- [1] Robert F. Coughlin, Frederick F. Driscoll, “*Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales*”, Prentice Hall, 1999.
- [2] Asociación mexicana de sordos, A. C., “*Manual para el Lenguaje de Sordomudos de México*”.
- [3] Frederick F. Driscoll, Robert F. Coughlin, Robert S. Villanucci, “*Data Acquisition and Process Control with the M68HC11 Microcontroller*”, Prentice Hall.
- [4] Chin-Teng Lin and C. S. George Lee, “*Neural Fuzzy Systems*”, Prentice Hall, 1996.
- [5] Timothy J. Ross, “*Fuzzy Logic with Engineering Applications*”, McGraw-Hill, Inc., 1995.
- [6] James A. Freeman / David M. Skapura, “*Redes Neuronales*”, Addison – Wesley, 1993.

Páginas en Internet:

<http://dctrl.fi-b.unam.mx/boletin/Agosto-98/Ago-98-2.html>
<http://www.cse.ogi.edu/CSLU>
<http://www.deaf.com.mx/irosig.html>
http://www.geocities.com/funda_sordomudos/
<http://www.geocities.com/rafael.sanchez/es/68hc11.html>
<http://www.geocities.com/SiliconValley/garage/3381/68hc11.htm>
<http://www.inegi.gob.mx>
<http://www.jameco.com>
<http://www.rcsystem.com>
<http://www.sitiodesordos.com.ar/avances%20tecnol.htm>
http://www.sitiodesordos.com.ar/avan_catalina.htm
<http://skyscraper.fortunecity.com/email/250/68hc11.htm>
http://www.sunybroome.edu/~grace_t/micro/lab/ml_ia_.html
<http://www2.gratisweb.com/wilben/cap12.html>
<http://web.jet.es/pilisanjose/index.htm>
<http://www.sinfomed.org.ar/mains/infopaci/disfo.htm>
<http://www.worldwidehospital.com/h24h/otoafo1.htm>