



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

**“PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA DE
COMUNICACIÓN TELEFÓNICA CON BASE EN LA
CONVERSIÓN DE TEXTO A VOZ Y DE VOZ A TEXTO”**

TESIS

**PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ELECTRÓNICA**

PRESENTA

PROCOPIO GÓMEZ MARTÍNEZ

DIRECTOR DE TESIS

M.C. ENRIQUE ESPINOSA JUSTO

HUAJUAPAN DE LEÓN, OAX.; FEBRERO DE 2006

AGRADECIMIENTOS

Antes que nada, le agradezco a la vida, por haberme dado la oportunidad de nacer en un lugar donde aun existe un contacto directo con la naturaleza.

Agradezco de manera muy especial al M.C. Ramón G. Maldonado Basilio, por el enorme apoyo que me proporcionó en todos aspectos durante el desarrollo de esta tesis. Muchas gracias por el tiempo que dedico para compartir parte de sus conocimientos y experiencias, estableciendo en todo momento un ambiente de amistad. Gracias también por el gran sentido de responsabilidad y profesionalismo que siempre trató de formar en mi persona.

También me agradezco a mi mismo, porque nunca perdí la fe, para seguir mi meta a pesar de que en mi bolsillo de mi pantalón siempre reinaba el vacío.

DEDICATORIAS

**Mets tääk, teets tiäskujuyöp meets määpj, ja'kësp ku määts ejtp töspputëkë, kuyöp ëts
ojtsy miiny jëts ëxämpatj.**

Con profundo amor y respeto a mis padres queridos por su amor, comprensión y apoyo que me han brindado en toda mi vida.

También dedico este trabajo a mis hermanos Evodio, Tiburcio, Cirilo y mi hermana Florentina. En especial a mi hermano mayor, Evodio, por la confianza que tiene en mí y porque siempre me ha apoyado en las decisiones importantes de mi vida. Gracias por tu ejemplo digno de seguir. Gracias hermanos por el apoyo incondicional que me dieron, sin ustedes nunca hubiera terminado mis estudios.

Finalmente dedico este trabajo a la Doctora Olimpia Figueras, que con su apoyo y motivación logre ingresar a la Universidad Tecnológica de la Mixteca, Siempre le estaré agradecido. Como también a mis amigos José Carlos y Alberto Ángel, por sus apoyos y motivaciones que me dieron en situaciones difíciles.

INDICE

	PÁGINA
Introducción.....	1
Capítulo 1.Antecedentes.....	5
1.1. Fundamentos de un sistema telefónico.....	6
1.2. Descripción de la red telefónica.....	10
1.3. Aparatos propuestos hasta ahora para resolver los problemas de comunicación de las personas hipoacúsicas.....	13
Capítulo 2. Descripción del Hardware.....	16
2.1. Introducción.....	16
2.2. Decodificador de doble tono multifrecuencial (DTMF MT8870).....	20
2.3. Circuito de voz (TEA1067).....	22
2.4. Detector de Ring Back (Decodificador de tonos LM567).....	23
2.5. Detector de timbrado (MC34012).....	24
2.6. Sistema de colgado, descolgado y conmutación.....	25
2.7. Visualizador de cristal líquido (LCD AND 491).....	27
2.8. Sistema de control (microcontrolador AT90S2313).....	28
Capítulo 3. Descripción del Software.....	31
3.1. Introducción.....	31
3.2. Programa del microcontrolador del Sistema Central.....	33
3.2.1. Configuración del microcontrolador.....	34
Configuración del Timer0.....	34
Configuración del puerto serie del microcontrolador.....	34
3.2.2. Establecimiento de la comunicación entre los dos usuarios.....	35
3.2.3. Comunicación entre los dos usuarios.....	37
3.3. Programa del microcontrolador del Sistema Portátil.....	42
3.3.1. Establecer la comunicación con el Sistema Central.....	43
3.4. Programa de la computadora.....	46
Capítulo 4. Pruebas y resultados.....	53
4.1. Sistema Portátil.....	53
4.2. Sistema Central.....	58
Conclusiones.....	65
Referencias.....	68
Apéndice A. Lista de componentes y diagramas esquemáticos.....	70

LISTA DE FIGURAS

	PÁGINA
Antecedentes	
1.1. Diagrama a bloques de un aparato telefónico.....	6
1.2. Asociación de los dígitos del teclado telefónico con los tonos DTMF.....	8
1.3. Ilustración del doble tono generado al marcar la tecla 1.....	9
1.4. Conexión permanente entre dos teléfonos.....	11
1.5. Sistema telefónico con un punto central de conmutación o central telefónica.....	11
1.6. Estructura de la red telefónica.....	13
1.7. Sistema PORTATEL.....	14
1.8. Sistema Video INFO-VIEW.....	15
1.9. Sistema telefónico con teclado.....	15
Descripción del Hardware	
2.1. Diagrama ilustrativo del sistema propuesto.....	17
2.2. Diagrama a bloques del circuito del Sistema Central.....	17
2.3. Diagrama a bloques del circuito del Sistema Portátil.....	20
2.4. Diagrama eléctrico del DTMF MT8870 en modo de entrada única.....	21
2.5. Diagrama eléctrico del circuito de voz TEA1067.....	23
2.6. Diagrama eléctrico del circuito detector de Ring Back.....	24
2.7. Diagrama eléctrico del circuito detector de timbrado.....	25
2.8. Diagrama del sistema de colgado, descolgado y conmutación.....	26
2.9. Diagrama eléctrico del display de cristal líquido (LCD).....	28
2.10. Diagrama eléctrico del controlador del Sistema Central.....	29
2.11. Diagrama eléctrico del controlador del Sistema Portátil.....	30
Descripción del Software	
3.1. Resumen del intercambio de información entre el usuario origen y el destino	32
3.2. Diagrama de flujo del programa residente en el microcontrolador del Sistema Central.....	33
3.3. Diagrama de flujo para el establecimiento de la comunicación entre los dos usuarios.....	36
3.4. Diagrama de flujo de la subrutina de comunicación entre los dos usuarios.....	38
3.5. Diagrama de flujo del servicio de interrupción del puerto serie.....	41
3.6. Diagrama de flujo para la configuración del LCD.....	42
3.7. Diagrama de flujo para establecer la comunicación con el Sistema Central.....	44
3.8. Flujo de datos para la conversión de texto a voz.....	47
3.9. Agente de voz "Rebecca".....	47
3.10. Carátula del programa Chant SpeechKit.....	48
3.11. Flujo de datos para la conversión de voz a texto.....	49
3.12. Diagrama de flujo para inicializar los programas de conversión.....	50

LISTA DE FIGURAS (continuación)

	PÁGINA
Pruebas y Resultados	
4.1. Gráfica en el dominio del tiempo del doble tono correspondiente a la tecla marcada con el número "1".....	54
4.2. Gráfica en el dominio de la frecuencia del doble tono correspondiente a la tecla marcada con el número "1".....	54
4.3. Gráfica obtenida en la entrada y salida del circuito detector de tono de invitación a marcar.....	55
4.4. Gráfica obtenida en la entrada y salida del circuito detector de Ring Back.....	55
4.5. Gráfica obtenida en la entrada y salida del circuito detector de ocupado.....	56
4.6. Fotografía del Sistema Portátil.....	57
4.7. Señal obtenida en la entrada y salida del circuito detector de timbrado.....	59
4.8. Fotografía del circuito del Sistema Central.....	60
4.9. Programa HCT ejecutado en la computadora.....	61

LISTA DE TABLAS

	PÁGINA
Antecedentes	
1.1. Principales tipos de señales presentadas en las terminales Tip y Ring.....	10
1.2. Clasificación jerárquica de los diferentes tipos de centrales telefónicas....	12
Descripción de Hardware	
2.1. Especificación de las terminales mas importantes del circuito MT8870...	21
2.2. Especificación de las terminales más importantes del circuito TEA1067..	22
2.3. Especificación de las terminales más importantes del circuito LM567.....	24
2.4. Especificación de las terminales más importantes del circuito LM567.....	25
2.5. Tabla de verdad del circuito de colgado, descolgado y conmutación.....	27
2.6. Especificación de las terminales más importantes del LCD.....	28
Descripción de Software	
3.1. Secuencia de teclas y su correspondencia a letras.....	39
3.2. Mapa de memoria del microcontrolador donde están almacenadas las letras correspondientes a la secuencia de teclas.....	40
3.3. Lista de comandos que utiliza el programa HCT.....	52
Pruebas y Resultados	
4.1. Tabla de resultados de la prueba del programa de reconocimiento de voz que se realizó con todo el sistema propuesto.....	62

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la comunicación se ha convertido una necesidad primordial en la vida de cualquier persona, ya que a través de ella aprende y enseña sus conocimientos. Desde tiempos pasados, el ser humano siempre requirió de la comunicación a grandes distancias, lo cual se resolvió con la invención del teléfono. Hoy en día, el teléfono se utiliza para transmitir datos, audio y video, permitiendo que cualquier persona pueda estar comunicada con otras personas en cualquier parte del mundo.

El teléfono, siendo uno de los medios más importantes y necesarios de comunicación entre las personas, está orientado hacia aquellas que tienen la capacidad de hablar y escuchar, mientras que personas que no tienen esta capacidad se enfrentan con el problema de no poder usar este aparato. De acuerdo a los datos proporcionados por la Asociación Europea de fabricantes de aparatos de audición [1], en México existen aproximadamente 630 000 personas con problemas de audición y 9 000 de ellas están completamente sordas. Estas personas actualmente no cuentan con ningún teléfono especial que les permita comunicarse, por ejemplo para poder hacer denuncias por teléfono o realizar cualquier operación telefónica.

De esta manera, con base en la necesidad de un aparato electrónico que facilite la comunicación de las personas con discapacidad auditiva, en este trabajo de tesis se presenta una propuesta de diseño de una herramienta de comunicación telefónica con base en la conversión de texto a voz y de voz a texto, mediante el uso de tecnologías como son el motor de voz (convertidor de texto a voz) y el reconocedor de voz (convertidor de voz a texto). Estas dos operaciones de conversión constituyen un recurso apropiado para posibilitar la comunicación a distancia entre una persona con discapacidades auditivas y una persona con capacidad auditiva, a través de una línea telefónica. En este punto es conveniente mencionar que a las personas con algún tipo de discapacidad auditiva se les denomina también hipoacúsicos, por lo tanto este término será utilizado indistintamente en toda la escritura de este trabajo de tesis.

Así pues, con la elaboración de este trabajo de tesis se pretende plantear una posible solución al problema de comunicación telefónica de las personas con discapacidad auditiva. En términos generales, la persona con problemas de audición contará con un Sistema Portátil conectado a su teléfono, a través del cual visualizará los mensajes (texto) recibidos y enviados durante una conversación telefónica. Por otro lado, se contará con un servidor o Sistema Central (conformado por una computadora personal y un circuito electrónico, basado en un microcontrolador conectado en una línea telefónica intermediaria), el cual realizará la conversión de texto a voz, es decir, recibir el texto del mensaje de la persona con problemas de audición, convertirlo a voz y enviarlo a la persona sin problemas de audición. La otra operación del Sistema Central es convertir voz a texto, de manera que la persona sin problemas de audición utilice cualquier aparato telefónico para contestar y el Sistema Central se encargue de convertirlo a texto para enviárselo a la persona con problemas de audición.

En este sentido, en el presente trabajo se plantea el siguiente **objetivo general**:

Desarrollar una herramienta hardware-software que permita realizar una comunicación telefónica entre una persona con problemas de audición y una persona sin problemas de audición a través de una operadora automática.

Para poder llevar a cabo este objetivo general, se plantean los siguientes **objetivos específicos**:

- Entender la señalización de la línea telefónica a nivel de abonado para diseñar e implementar circuitos basados en microcontroladores, que sean capaces de detectar el estado de dicha línea.
- Realizar un estudio de los diferentes programas de aplicación existentes en el mercado que realicen la conversión de texto a voz y de voz a texto, de tal forma que pueden ser integrados a los circuitos desarrollados.

- Diseñar y construir un circuito basado en microcontroladores, denominado Sistema Portátil, que pueda ser conectado al teléfono origen y realice el envío-recepción de mensajes de texto.
- Establecer un mecanismo que permita la codificación de teclas en el Sistema Portátil para estructurar mensajes de texto.
- Diseñar y construir un circuito basado en microcontroladores, denominado Sistema Central, que con la ayuda de dos líneas telefónicas, una computadora personal y los programas de conversión mencionados anteriormente, establezca y realice la comunicación entre el usuario origen (hipoacúsico) y el usuario destino. Este Sistema Central realizará la función de una operadora automática.
- En caso de ser necesario, implementar un software que realice la integración de los dos programas de aplicación (conversión de voz a texto y de texto a voz).

Con respecto a la redacción, este trabajo de tesis esta ordenado de la siguiente manera. En el capítulo 1, denominado “Antecedentes”, se realiza una breve reseña histórica de la invención del teléfono, se describe la estructura de un aparato telefónico y las redes telefónicas, así como también se realiza una revisión general de los sistemas desarrollados hasta ahora que resuelven o intentan resolver la problemática abordada en este trabajo.

En el capítulo 2, denominado “Descripción del Hardware”, se describen las características del hardware utilizado, tanto del Sistema Central como del Sistema Portátil, así como su interconexión con la línea telefónica.

En el capítulo 3, denominado “Descripción del Software”, se describen los programas desarrollados tanto para el Sistema Central como para el Portátil, es decir, los programas almacenados en los microcontroladores. De manera similar, se describe la operación de los programas motor de voz y reconocedor de voz, que se ejecutan en la computadora personal, así como su interrelación con los programas del microcontrolador.

En el capítulo 4, denominado “Pruebas y Resultados”, se describen las pruebas realizadas con todo el sistema en conjunto para verificar su funcionamiento. En este capítulo se muestran, por un lado, las señales telefónicas que procesan los circuitos diseñados y las salidas que proporcionan dichos circuitos. Por otro lado, dada la imposibilidad de mostrar textualmente los resultados del sistema en conjunto, se describe paso a paso el proceso que deberían realizar los usuarios de este sistema para el establecimiento exitoso de una conversación telefónica.

Posteriormente, en el capítulo 5, denominado “Conclusiones”, se mencionan las conclusiones que se obtuvieron en la elaboración de esta tesis, así como las futuras perspectivas para trabajos subsecuentes.

Para finalizar, se ha incluido la sección de Referencias y una sección de Apéndices, donde se muestra la lista de los componentes electrónicos utilizados y los diagramas esquemáticos de los circuitos desarrollados.

1. ANTECEDENTES

En 1874, Alexander Graham Bell, profesor de la Universidad de Boston, se interesó en el estudio de los aparatos telegráficos; el había construido un telégrafo experimental, el cual comenzó a funcionar erróneamente debido a que una de las piezas no estaba dispuesta de la manera apropiada. Este hecho le dio a Bell una visión de cómo las voces se podrían reproducir a distancia. Cuando Bell y su ayudante, Thomas A. Watson se preparaban para probar el mecanismo recién construido, a Bell se le derramó un poco de ácido en su pierna. Mientras tanto, en la otra habitación contigua estaba Watson al lado del receptor, cuando de repente escuchó claramente el primer mensaje telefónico: "Sr. Watson, ven aquí, te necesito" [4].

Bell obtuvo la patente que amparaba su aparato telefónico en Marzo de 1876, adelantándose unas horas a otro inventor, Elisha Gray (como reseña histórica, cabe mencionar que durante mas de una hora discutieron por el invento del teléfono, pero el veredicto final fue favorable a Bell y pronto se hizo histórico). En junio de 2002, cambió nuevamente la historia, cuando el Congreso de los Estados Unidos de América reconoció que el teléfono fue concebido por un desconocido inmigrante italiano llamado Antonio Meucci. En la resolución, el Congreso reconoció que el teletrófono Meucci (bautizado así por el inventor), se mostró públicamente en Nueva York en 1860, 16 años antes de que Bell lo patentara. El veredicto estadounidense también asegura que "La vida y logros de Antonio Meucci deben ser reconocidos, así como su trabajo en la invención del teléfono" [5].

Bajo el mismo objetivo de la invención del teléfono, después de muchas innovaciones, arreglos y recientes descubrimientos, como la fibra óptica, Internet y el teléfono celular, hoy en día, las empresas de telecomunicaciones se han ganado un puesto decisivo en la cultura y el diario vivir de todas las personas, debido mayormente a la necesidad real de "estar constantemente comunicados". Invariablemente, todos los sistemas de comunicación de voz y texto basan su operación en las líneas telefónicas. Por consiguiente, es de suma importancia para la elaboración de este trabajo, una revisión

generalizada de la operación del sistema telefónico, con un enfoque especial sobre la señalización telefónica a nivel de abonado.

1.1. Fundamentos de un sistema telefónico

Un sistema telefónico tiene como finalidad comunicar a dos personas que se encuentren en cualquier parte del mundo, en donde se disponga de un aparato telefónico conectado a la red telefónica. Así pues, lo primero que se tiene que estudiar o describir es el artefacto que permite realizar la comunicación, es decir, el aparato telefónico, el cual esta constituido principalmente por los siguientes elementos [6]:

1. Un sistema de contactos de apertura y cierre del circuito de conversación, accionados por el dispositivo en que se apoya el teléfono en estado de colgado.
2. Un micrófono y un auricular, estos dos elementos están unidos en una sola pieza.
3. Un timbre y un dispositivo de llamada.

En la figura 1.1 se muestra el diagrama a bloques del circuito eléctrico de un aparato telefónico, identificando los elementos que lo constituyen. En general, las funciones que realiza el aparato telefónico son [6]:

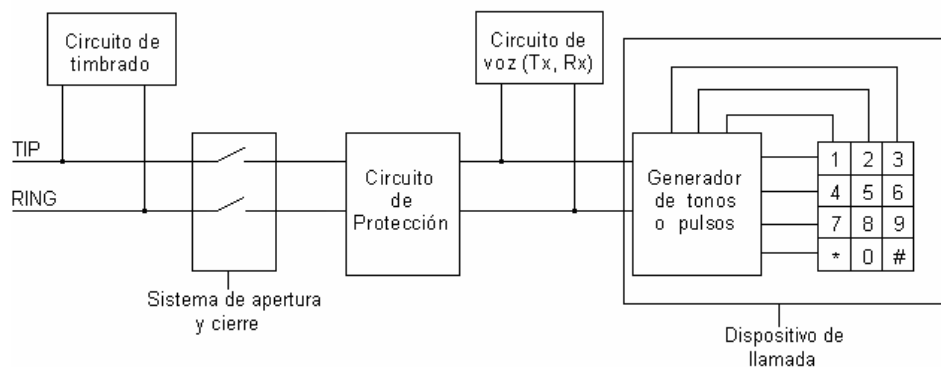


Figura 1.1. Diagrama a bloques del circuito de un aparato telefónico

1. Invita a disponer del uso de la central telefónica cuando el teléfono está levantado (descolgado).

2. Indica que la central está lista para su uso al recibir un tono, llamado “tono de invitación a marcar”.
3. Envía a la central telefónica el número del teléfono que será llamado. Este número se origina al presionarlo en el teclado del teléfono (marcación por tonos) o al girar el disco del teléfono (marcación por pulsos).
4. Indica el estado de una llamada en progreso, al recibir tonos tales como el tono de timbrado y el tono de ocupado.
5. Indica que una llamada está siendo recibida en un teléfono al timbrar una campanilla o al producir otros tonos audibles.
6. Convierte la señal de voz en señales eléctricas para su transmisión a distancia a través de la central telefónica. Al mismo tiempo, convierte las señales eléctricas recibidas en señales de voz para que puedan ser escuchadas.
7. Realiza un ajuste automático de los cambios de la fuente de alimentación de la central telefónica.
8. Indica a la central telefónica que una llamada ha terminado cuando el teléfono se encuentra nuevamente colgado.

Cada aparato telefónico se conecta a la central telefónica a través de un par de alambres, llamados alambre T (Tip) y alambre R (Ring). Los nombres de los alambres de conexión se deben al nombre de las partes Tip y Ring del plug (conector) empleado en los tableros de las primeras centrales telefónicas.

En un estado de inactividad el teléfono se encuentra “colgado”, en su base de descanso, conocido como la condición de ON-HOOK. Esto quiere decir que el circuito de timbrado se encuentra activo y el circuito entre el teléfono y la central se encuentra abierto.

Cuando un usuario va a realizar una llamada, descuelga el teléfono y se cierra el circuito entre el teléfono y la central. A este estado se le denomina condición OFF-HOOK. Al detectar éste estado, la central telefónica envía el “tono de invitación a marcar”,

indicando al usuario que se tienen las condiciones apropiadas para realizar la marcación de un número telefónico.

Para enviar el número telefónico a la central telefónica, se dispone de dos maneras: la primera es por medio de pulsos, generándose la cantidad de pulsos establecidos por el número marcado, es decir, el número de pulsos generados equivale al número marcado y estos son generados por un disco giratorio dispuesto en el aparato telefónico. Cabe mencionar que la marcación por pulsos se utilizó extensivamente en los teléfonos analógicos, sin embargo, en las líneas telefónicas actuales, donde la mayor parte del procesamiento a nivel de centrales es digital, la marcación por pulsos ha sido prácticamente reemplazada por la marcación por tonos. La segunda manera de marcación es justamente la de tonos, en donde cada dígito del teclado telefónico está asociado con la generación de un doble tono multifrecuencial (DTMF, Dual Tone MultiFrecuencial). De esta forma, cada dígito corresponde a un doble tono, formado por un tono de frecuencia alta (columna) y un tono de frecuencia baja (renglón), como se muestra en la figura 1.2.

		FRECUENCIAS ALTAS (HZ)		
		1209	1336	1477
FRECUENCIAS BAJAS (HZ)	697	1	ABC 2	DEF 3
	770	GHI 4	JKL 5	MNO 6
	852	PRS 7	TUV 8	WXY 9
	941	*	OPER 0	#

Figura 1.2. Asociación de los dígitos del teclado telefónico con los tonos DTMF

De manera ilustrativa, al marcarse el número 1, por ejemplo, se propicia la generación de los tonos mostrados en la figura 1.3, donde se bosqueja el tono alto (1209 Hz), el tono bajo (697 Hz) y el doble tono generado por el teléfono.

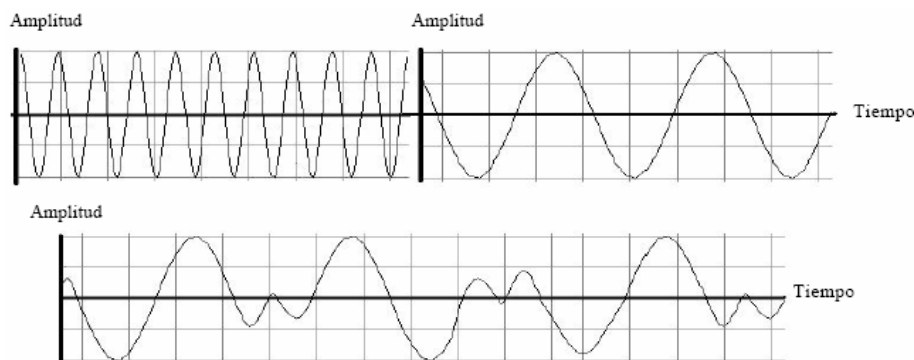


Figura 1.3. Ilustración del doble tono generado al marcar la tecla 1

Una vez que la central telefónica reconoce el número telefónico destino marcado, envía una señal especial, llamada “tono de timbrado” al teléfono destino, indicando la presencia de una llamada. Al mismo tiempo, envía la señal de “Ring Back” al teléfono origen, como aviso a éste usuario que la central telefónica está en espera de que el usuario destino descuelgue y conteste en su aparato telefónico. Cuando el usuario destino contesta, se establece la comunicación entre estos dos usuarios.

Cada aparato está constituido por dispositivos especiales que permiten que se realice la comunicación. El primero es el circuito de voz (speech network), este circuito es el encargado de convertir la señal de voz (energía acústica) a señales eléctricas (energía eléctrica). De manera análoga, en el teléfono destino se encuentra un receptor encargado de convertir la señal eléctrica en sonidos, de modo que el usuario pueda escuchar el mensaje del usuario origen. Al mismo tiempo que la señal producida por el transmisor es convertida en variaciones de corriente en el receptor, una pequeña cantidad de señal es retroalimentada, permitiendo así que una persona pueda escuchar su propia voz para determinar que tan fuerte está hablando.

Cuando se finaliza una llamada, en otras palabras, cuando uno de los usuarios cuelga, la central telefónica libera el circuito o conexión virtual establecida previamente entre los usuarios durante la llamada y restablece la condición de ON-HOOK de ambos teléfonos. Con esto, la línea telefónica queda desocupada y puede realizarse una nueva llamada.

Hasta este punto se ha mencionado la estructura del aparato telefónico, las funciones que realiza dicho aparato y se ha descrito el proceso que se realiza para el establecimiento y desconexión de una llamada telefónica. Sin embargo, es de suma importancia no solamente entender el proceso de establecimiento y liberación de una llamada, sino también la señalización a nivel de abonado que posibilita dicho proceso. En este sentido, en la tabla 1.1 se muestra un resumen del estado del teléfono y la señalización presente entre las terminales Tip y Ring del aparato telefónico. Como es de esperarse, el conocimiento de esta señalización es necesario para diseñar y construir circuitos que se interconecten con el aparato telefónico, tal como es el caso de la propuesta presentada en este trabajo de tesis.

DESIGNACIÓN (ESTADO DEL TELÉFONO)	FUNCIÓN	CARACTERÍSTICAS DE LA SEÑAL
Colgado	Indica que el teléfono se encuentra disponible para iniciar una llamada	-48V (cd) , $\sim\mu\text{A}$
Descolgado	Indica que el teléfono se encuentra disponible para contestar o para iniciar una nueva llamada	5V (cd) , 20 a 120mA
Tono de Timbrado	Indica al teléfono destino la petición de llamada de otro suscriptor	90V (rms), 16-60 Hz
Tono de Ocupado	Indica que se ha establecido la conexión con el teléfono destino pero está ocupado	Tono intermitente a 120 IPM
Tono de Ring Back	Indica que se ha establecido la conexión con el teléfono destino y ha empezado a timbrar	Tono de 440Hz modulado por un Tono de 480Hz
Tono de invitación a marcar	Informa al suscriptor que puede empezar a marcar	Tono alto de 480Hz

Tabla 1.1. Principales tipos de señales presentadas en las terminales TIP y RING

1.2. Descripción de la red telefónica

La red telefónica en el mundo es la que tiene mayor cobertura geográfica, con la mayor cantidad de usuarios y ocasionalmente se ha afirmado que es "el sistema más complejo del que dispone la humanidad" [7]. Permite establecer una llamada entre dos usuarios en cualquier parte del planeta de manera distribuida, automática, prácticamente instantánea. Este es el ejemplo más importante de una red con conmutación de circuitos.

La forma más simple de conexión entre dos teléfonos se ilustra en la figura 1.4, en donde se muestran conexiones permanentes entre los puntos A y B. Esto representa el

método más antiguo de comunicación, pero a través del tiempo ha cambiado, debido al problema que se enfrenta por el número de conexiones y el exceso de cableado, como se explica a continuación [7].



Figura 1.4. Conexión permanente entre dos teléfonos

Considérese por ejemplo, un grupo de n suscriptores que desean instalar un sistema de comunicación telefónica. Con el esquema mostrado en la figura 1.4, para que un suscriptor pudiera comunicarse con cada uno de los $n-1$ suscriptores restantes se necesitarían $n(n-1)/2$ conexiones. Además, al incrementarse el número de suscriptores, se incrementa también el número de conexiones y se enfrentarían problemas de cantidad de cableado y del tamaño de área geográfica que puede cubrirse.

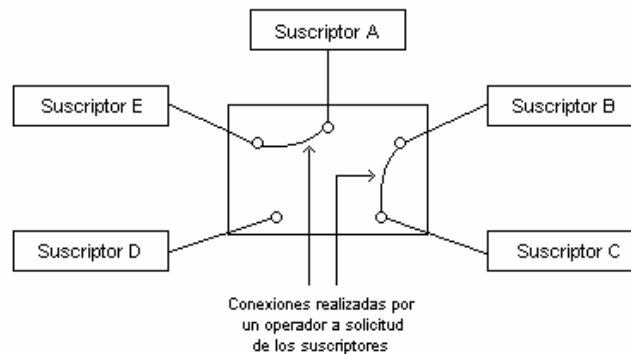


Figura 1.5. Sistema telefónico con un punto central de conmutación o central telefónica

Para eliminar estos problemas, se desarrolló un esquema con un punto central (central telefónica) al que todos los suscriptores se conectan y al que cualquiera de los suscriptores puede ser enlazado con otro suscriptor a solicitud. El diagrama simplificado de una central telefónica se muestra en la figura 1.5. Esta nueva forma de conexión resuelve en parte el problema, es decir, sería impráctico proveer una central telefónica para todo un país, con todos sus suscriptores conectados a ella. Por esta razón existe una jerarquía entre

las diferentes centrales telefónicas que le permite a cada una de ellas enrutar las llamadas de acuerdo con los tráficos que se presenten.

Así pues, se ha estructurado una red telefónica ramificada, en donde se tienen diferentes clases o niveles de centrales, cada una con una función particular [8]. De esta forma, si una llamada de petición de servicio no puede ser tomada por la central de menor clase correspondiente, usualmente es atendida por una central de clase inmediata superior en la red. De manera específica, como se muestra en la tabla 1.2 y en la figura 1.6, las centrales regionales son la parte más alta del árbol, es decir, las de mayor jerarquía de la red. Los niveles inferiores están compuestos por las centrales de clase 2, 3, 4, 4X y 5. Todas las centrales están conectadas en conjunto, ya sea directa o indirectamente y sus interconexiones no son tan simples, dependiendo del patrón de tráfico y del número de suscriptores en la Oficina Terminal, que es la de menor jerarquía.

NOMBRE	CLASE	ABREVIACIÓN	CARACTERÍSTICAS
Central Regional	1	RC	Realizan los enlaces de llamadas internacionales. Actualmente existen 3 Centrales Regionales en México
Central de Sección	2	SC	Etapas intermedia hacia una conexión internacional. Actualmente existen alrededor de 16 Centrales de Sección en México
Central Primaria	3	PC	Agrupas a 4 o más centrales clase 4. Actualmente existen alrededor de 70 Centrales Primarias en México
Central de Tarificación	4C	TC	Sirven de puente entre dos centrales terminales y como conexión hacia etapas superiores. También se denominan Centrales de Tránsito o Tandem. Actualmente existen alrededor de 240 Centrales de Tránsito en México
Punto de Tarificación	4P	TP	
Punto Intermedio	4X	IP	
Oficina Terminal	5	EO	Soporta de 10 a más de 10000 líneas de suscriptores. Se clasifica en Oficina Terminal Urbana (OTU), Oficina Terminal Aislada (OTA) y Oficina Terminal Rural (OTR)

Tabla 1.2. Clasificación jerárquica de los diferentes tipos de centrales telefónicas

Las conexiones en la red telefónica se realizan de manera que se encuentre la ruta más corta desde la Oficina Terminal donde se encuentra el teléfono origen hasta la Oficina Terminal donde se encuentra el teléfono destino. Se cuenta además con grupos de troncales de gran uso que brindan una conexión directa entre Centrales de nivel superior o igual. Si se encuentran ocupadas se utilizan grupos de troncales de nivel superior, llamadas también

grupos troncales de elección final. Los circuitos lógicos digitales para el control común de cada central toman decisiones basadas en reglas almacenadas en memoria que especifican cual grupo troncal y en que orden se utilizarán.

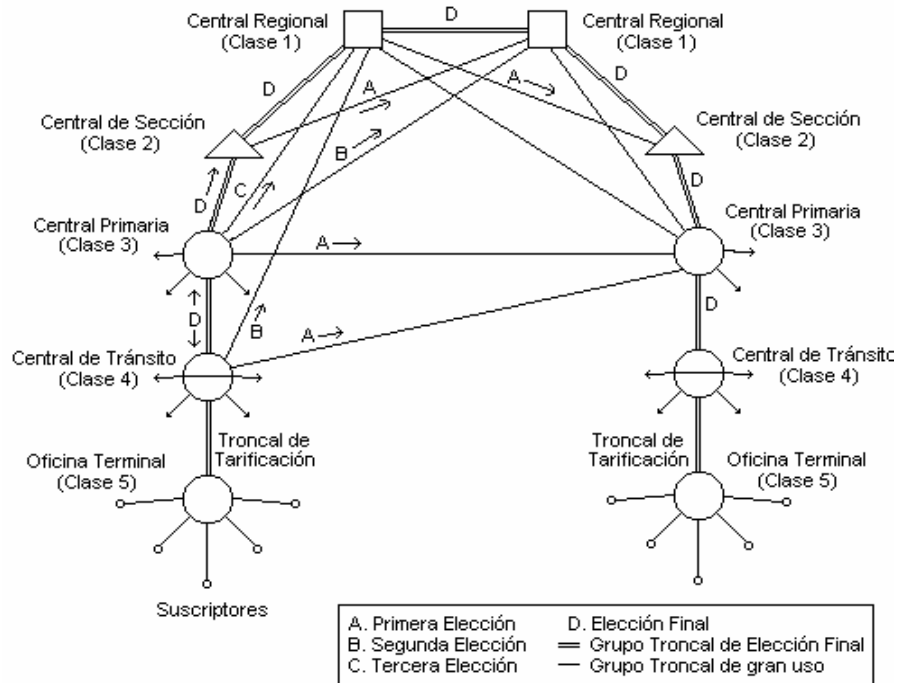


Figura 1.6. Estructura de la red telefónica pública

1.3. Aparatos propuestos hasta ahora para resolver los problemas de comunicación telefónica de las personas hipoacúsicas

En las dos secciones anteriores, se describió de manera general la estructura del aparato telefónico y de la red telefónica, que sirven como marco teórico para el diseño de los circuitos desarrollados en este trabajo. En ésta sección se describirán algunos de los aparatos que se encuentran en el mercado y cuya finalidad es facilitar la comunicación telefónica de personas hipoacúsicas.

Como se mencionó anteriormente, la cantidad de personas con algún tipo de problemas de audición en México es bastante significativa. Todas estas personas se enfrentan a la discriminación en el trabajo, en las escuelas y en general en la vida cotidiana.

Para la mayoría de los hipoacúsicos mexicanos no hay teléfonos, no hay timbres con luz para las puertas, ni alarmas para incendios con luces intermitentes, ni mucho menos programas en TV con subtítulos en español. Dentro de la escasa cantidad de aparatos existentes para la comunicación telefónica de personas hipoacúsicas, se puede mencionar al Sistema Portatel. Este aparato, mostrado en figura 1.7, cuenta con un teclado, una pantalla para visualizar los mensajes y un módem conectado al teléfono [9]. De esta forma, el usuario hipoacúsico debe conectar este aparato a su línea telefónica y debe escribir los mensajes que desea enviar al teléfono destino. La desventaja de este sistema es que los dos usuarios que deseen realizar la comunicación telefónica deben disponer de este equipo. Esto implica un gasto inicial adicional de ambos usuarios.



Figura 1.7. Sistema PORTATEL

Otro de los sistemas disponibles en el mercado es el Video INFO-VIEW y utiliza aparatos como el mostrado en la figura 1.8 [10]. En este caso, para realizar la comunicación se establece un enlace de video utilizando como medio de transmisión la red telefónica pública. En otras palabras, la comunicación telefónica se convierte en un tipo limitado de video conferencia. La principal desventaja de este sistema es la necesidad de este aparato tanto en el usuario origen como en el destino. Por otro lado, debido al ancho de banda requerido para la transmisión de video, este sistema presenta como segunda desventaja que la comunicación no es en tiempo real.



Figura 1.8. Sistema Video INFO-VIEW

El último sistema de este tipo disponible en el mercado basa su funcionamiento en el empleo de una operadora telefónica, como se muestra en la figura 1.9. En este caso, el usuario origen debe disponer de un aparato con teclado similar al mostrado en la figura 1.7, para el envío y recepción de sus mensajes [11].



Una operadora hace el enlace entre el hipoacústico y la persona que está del otro lado de la línea.

Figura 1.9. Sistema telefónico con teclado

Como puede observarse, la variedad de aparatos existentes hasta ahora con la finalidad de resolver los problemas de comunicación telefónica de las personas hipoacústicas es bastante limitada. Adicionalmente, el uso de los sistemas existentes no es completamente flexible para el usuario discapacitado, ya que por un lado requiere de teclados auxiliares y por otro requiere el uso de operadoras telefónicas humanas. Por consiguiente, en el presente trabajo de tesis se planea la posibilidad de diseñar una herramienta telefónica hardware-software que supere las desventajas de los aparatos comerciales existentes, es decir, evite el uso de teclados auxiliares y sea independiente de operadoras telefónicas. Por otro lado, la presente propuesta pretende también mejorar lo realizado en trabajos anteriores [12].

2. DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE

2.1. Introducción

El sistema completo está dividido en dos partes principales ilustradas en la figura 2.1. La primera parte es la correspondiente al Sistema Central, que se encontrará conectado a dos líneas telefónicas auxiliares, denominadas línea auxiliar 1 y línea auxiliar 2, a una computadora personal y a un sistema de control con base en el microcontrolador AT90S2313 de la firma ATMEL. La segunda parte es el Sistema Portátil, que se encontrará conectado al aparato telefónico de la persona con problemas de audición y a un sistema de control basado en el mismo tipo de microcontrolador.

Para poder satisfacer los objetivos mencionados en el Capítulo 1, se requiere que el Sistema Central este conformado por circuitos capaces de realizar diferentes funciones. La primera de ellas es identificar la señalización telefónica correspondiente a los tonos DTMF, al tono de invitación a marcar, al tono de ocupado y al tono de Ring Back. En este punto es conveniente mencionar que no basta identificar las señales, sino también es necesario que estos circuitos entreguen niveles lógicos TTL que puedan ser procesados por el microcontrolador. Otra de las funciones requeridas por el Sistema Central es precisamente el empleo de un circuito controlador que procese las señales identificadas por los circuitos mencionados anteriormente para ejecutar acciones que serán explicadas en párrafos posteriores. Debido a que el Sistema Central hace uso de dos líneas telefónicas, otro de los requerimientos importantes es el desarrollo de un circuito que realice el colgado, descolgado y conmutación entre las dos líneas telefónicas auxiliares. La última función requerida, pero no menos importante, es el uso de una computadora personal en donde se ejecutarán los programas de aplicación necesarios para la conversión de texto a voz y de voz a texto. Evidentemente, el microcontrolador y la computadora personal requerirán estar comunicados a través del puerto serie, para el envío y recepción, tanto de la voz transferida hacia el teléfono destino, como de los tonos enviados hacia el teléfono origen.

Con base en lo explicado en el párrafo anterior, el Sistema Central está compuesto por los bloques mostrados en la figura 2.2 y que a continuación se describen.

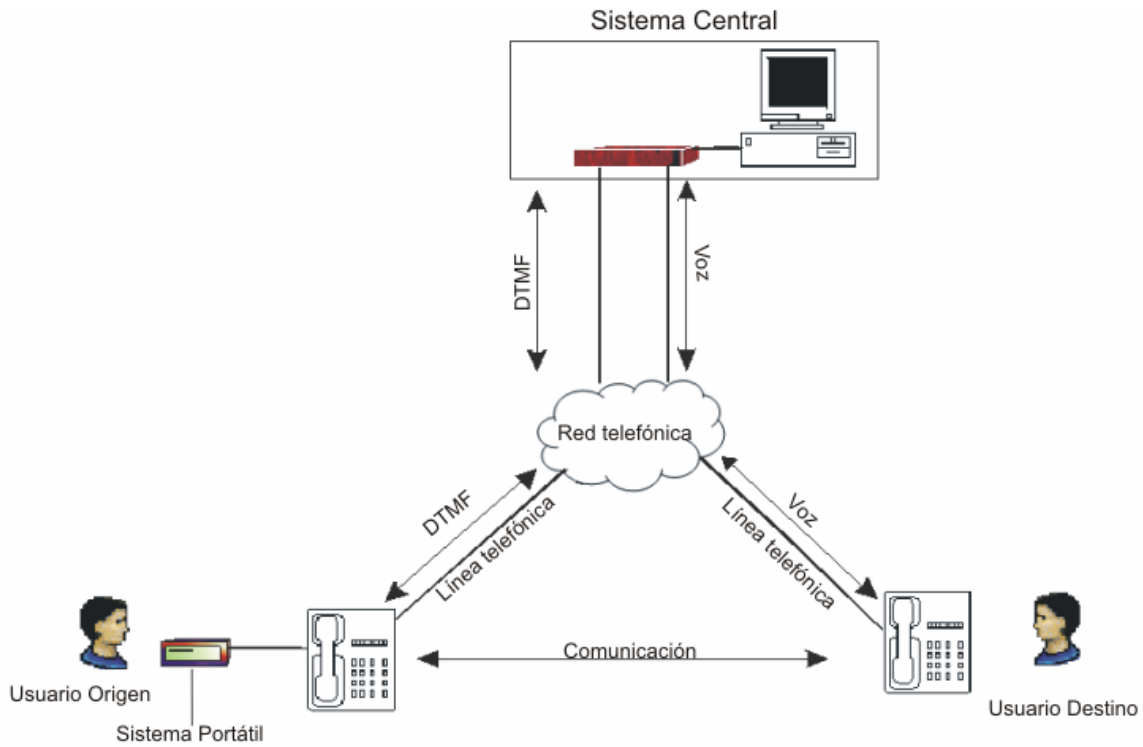


Figura 2.1. Diagrama ilustrativo del sistema propuesto

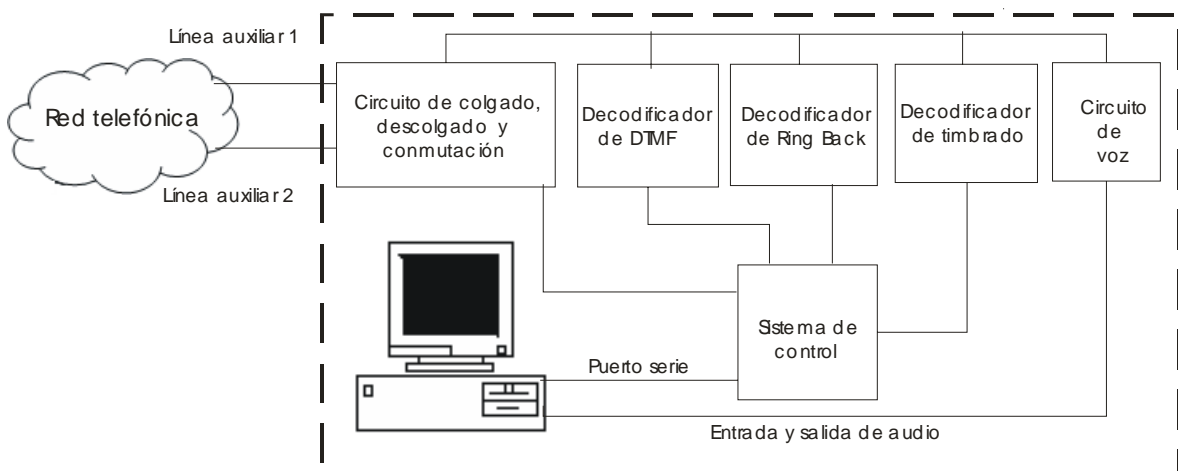


Figura 2.2. Diagrama a bloques del circuito del Sistema Central

1. Circuito de voz (Speech Network). Tiene dos funciones: 1) Acoplar la señal de voz a la línea telefónica auxiliar 2 para que pueda ser transmitida del Sistema Central al teléfono destino, es decir, al teléfono donde se encuentra la persona sin problemas de audición; 2) Acoplar los tonos DTMF generados por la computadora personal a la línea telefónica auxiliar 1 para que puedan ser transmitidos del Sistema Central al teléfono origen, es decir, al teléfono donde se encuentra la persona con problemas de audición.
2. Decodificador de doble tono multifrecuencial (DTMF). Este circuito tiene la función de decodificar los dobles tonos enviados desde el teléfono origen y proporcionar un conjunto de datos binarios al microcontrolador del Sistema Central. El uso de este circuito permite el establecimiento de la comunicación entre el teléfono origen y el Sistema Central.
3. Sistema de control. Está basado en el microcontrolador AT90S2313 y tiene la función de recibir los datos del decodificador DTMF, del detector de timbrado y del detector de Ring Back para interpretarlos adecuadamente. Con respecto a los tonos DTMF decodificados, podrán tener diferente interpretación, pudiendo ser mensajes enviados por el teléfono origen o comandos intercambiados entre el teléfono origen y el Sistema Central para el establecimiento de una llamada. Otra función que realiza el sistema de control es el descolgado/colgado automático de las dos líneas telefónicas auxiliares, así como la conmutación con el circuito de voz requerida para realizar la comunicación con el teléfono destino.
4. Detector de Ring Back. La función de este circuito es identificar los tonos de señalización presentes en la línea telefónica, tales como el tono de invitación a marcar, el tono de ocupado y el tono de timbrado de regreso (Ring Back). Al ser identificados dichos tonos, este circuito proporciona niveles lógicos al microcontrolador para su correspondiente procesamiento.
5. Detector de timbrado. Tiene la función de indicarle al sistema de control la presencia de una llamada.

6. El circuito de colgado, descolgado y conmutación. Está basado en 3 relevadores de doble interruptor que son accionados por el microcontrolador. Este circuito es el encargado de realizar el colgado y descolgado de las 2 líneas telefónicas auxiliares, permitiendo al sistema de control recibir y realizar llamadas y por consiguiente establecer la comunicación entre el teléfono origen y el teléfono destino.

Hasta este momento se han descrito, tanto en forma general como en forma detallada, los bloques y las funciones requeridas en el Sistema Central. Con respecto al Sistema Portátil, se requiere del empleo de circuitos que decodifiquen los tonos DTMF, generados tanto en el teléfono origen como en el Sistema Central, para que sean procesados por un microcontrolador. Debe hacerse notar que el Sistema Portátil no requiere del uso de un teclado auxiliar, ya que es uno de los objetivos primordiales del sistema propuesto. Por consiguiente, se utilizará el mismo teclado que posee el aparato telefónico origen. Otra observación importante es que no se requiere de una computadora personal, ya que en cuanto a su tamaño, el Sistema Portátil deberá ser lo mas pequeño y compacto posible. Sin embargo, para la visualización de los mensajes de texto enviados y recibidos, se requiere de un visualizador de cristal líquido. En forma detallada, el Sistema Portátil estará conformado por los bloques mostrados en la figura 2.3 y que a continuación se describen.

1. Decodificador de doble tono multifrecuencial (DTMF). Este circuito tiene la función de decodificar los dobles tonos generados por el teléfono origen y los tonos enviados desde el Sistema Central.
2. Decodificador de Ring Back. Este circuito tiene la misma función que su similar del Sistema Central.
3. Sistema de control. Este circuito esta basado en el mismo tipo de microcontrolador que el empleado en el Sistema Central. A diferencia del primero, este no requiere del circuito de timbrado ni de la comunicación con la computadora personal, pero tiene otras funciones adicionales tales como el manejo de un visualizador de cristal líquido (LCD), en el cual se muestran los números telefónicos marcados, los

mensajes escritos por el usuario y los mensajes que el Sistema Central envía al teléfono origen.

4. Visualizador de cristal líquido (LCD). Este dispositivo constituye la principal interfaz entre todo el sistema y el usuario con deficiencias auditivas. Por medio del LCD, el usuario podrá visualizar los números telefónicos marcados, así como los mensajes de texto enviados hacia y recibidos desde el Sistema Central.

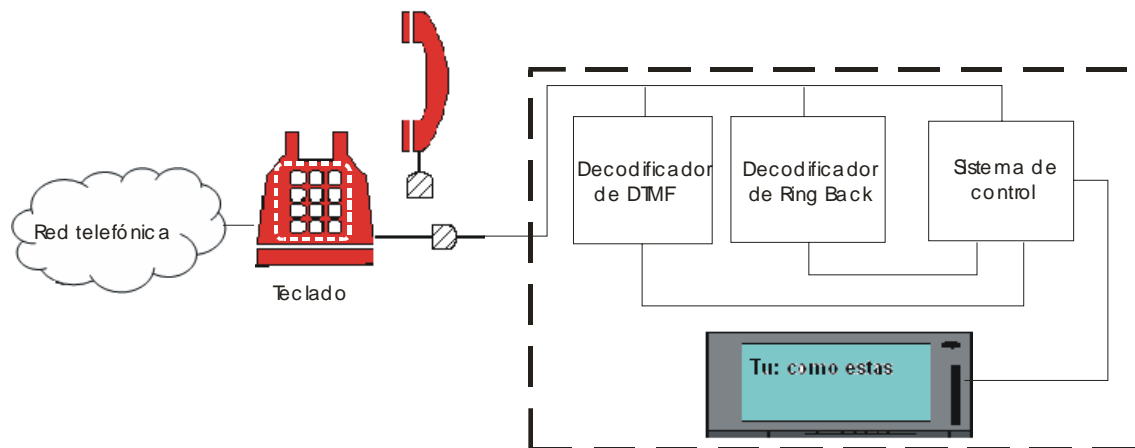


Figura 2.3. Diagrama a bloques del circuito del Sistema Portátil

Después de describir las funciones generales y particulares de cada bloque, tanto del Sistema Portátil como del Sistema Central, a continuación se detallarán los principales circuitos integrados utilizados para cada uno de estos bloques.

2.2 Decodificador de doble tono multifrecuencial (DTMF MT8870)

Para este bloque se utilizó el circuito integrado MT8870, el cual es un decodificador de doble tono multifrecuencial receptor; las funciones principales que realiza son filtrar e identificar los tonos de entrada [13]. La etapa de filtrado emplea filtros selectivos para separar el conjunto de frecuencias altas y el conjunto de frecuencias bajas. Además, ésta etapa incluye un rechazo a las señales cuyas frecuencias se encuentren entre 350 y 440 Hz, evitando así la posible decodificación de tonos no deseados. De manera similar, verifica el tiempo de duración de la señal (esto es conocido como la *condición de reconocimiento* de un caracter) y también verifica el tiempo mínimo de pausa entre un caracter con otro. En la

etapa de decodificación, emplea técnicas de conteo digital para detectar y decodificar los 16 pares de dobles tonos y proporcionar como resultado en su salida un grupo de datos de cuatro bits. Finalmente, cuenta con una terminal de salida que puede ser utilizada por el sistema de control para detectar la presencia de un nuevo dato, es decir, de una terminal de interrupción para el microcontrolador.

Las terminales más importantes de este circuito se muestran en la tabla 2.1.

Terminales	Entrada / salida	Función
OSC1, OSC2	Entrada	Oscilador de 3.57 MHz
Vdd y Vss	Entrada	Alimentación eléctrica de 5 V
TOE	Entrada	Control del tercer estado (activo en 0 V)
Q1-Q4	Salida	Bus de datos de 4 bits
StD	Salida	Indicador de fin de decodificación de un doble tono (activo en 5 V)

Tabla 2.1 Especificación de las terminales mas importantes del circuito MT8870

Por otro lado, en la figura 2.4 se muestra el diagrama eléctrico del MT8870 en modo de entrada única; los componentes externos que se utilizan son los que recomienda el fabricante.

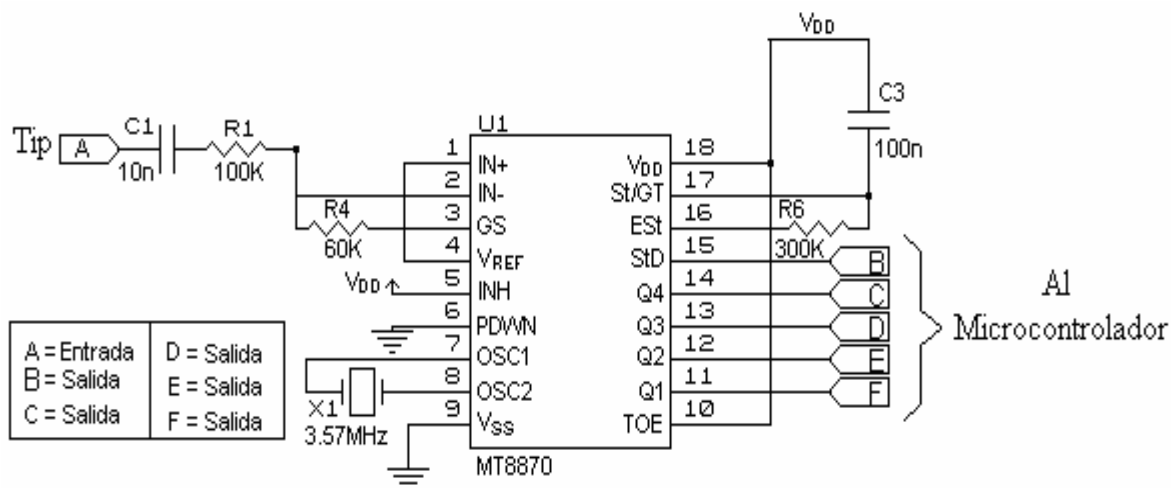


Figura 2.4. Diagrama eléctrico del DTMF MT8870 en modo de entrada única

2.3. Circuito de voz (TEA1067)

El TEA1067 es un circuito integrado bipolar que realiza todas las funciones de interfaz de conversación, como son la transmisión y recepción de la señal de voz requerida en un aparato telefónico [14]. Otra función que realiza es la conmutación electrónica entre el marcaje y la conversación. El circuito puede funcionar a un voltaje de línea de 1.6 V (con funcionamiento limitado), permitiendo que se puedan utilizar otros circuitos conectados en paralelo, tales como el circuito DTMF y los circuitos que componen un aparato telefónico. Este circuito es muy importante en el sistema propuesto, debido a que es la interfaz entre la computadora y la línea telefónica, para realizar la transmisión de la voz generada por la computadora hacia el teléfono del usuario destino.

La operación de las terminales más importantes de este circuito se describe a continuación.

Terminales	Entrada / salida	Función
Vcc y Vss	Entrada	Alimentación eléctrica de 5 V
LN	Entrada/salida	A través de esta terminal se transmiten los tonos DTMF y la voz
GAS1, GAS2	Entrada	Controla la ganancia de transmisión
IR	Entrada	A través de esta terminal se recibe la señalización telefónica, se amplifica y se envía a las terminales QR, para ser introducida a la computadora personal mediante la entrada de audio
GAR	Entrada	Ganancia de recepción
MIC+, MIC-	Entrada	Entrada de la señal de voz. En esta terminal se conecta la salida de audio de la computadora para enviar la voz generada por el agente de voz y los tonos DTMF
QR+, QR-	Salida	Salida de la señal de voz. Esta terminal se conecta a la entrada del micrófono de la computadora para que el programa de reconocimiento de voz lo convierta a texto y pueda ser enviado al usuario origen

Tabla 2.2. Especificación de las terminales más importantes del circuito TEA1067

En la figura 2.5 se muestra el diagrama eléctrico del circuito de voz; en este diagrama se han omitido las terminales no utilizadas para la aplicación propuesta. El cálculo de los valores de los componentes externos no fue necesario debido a que el fabricante proporciona su valor para un buen funcionamiento.

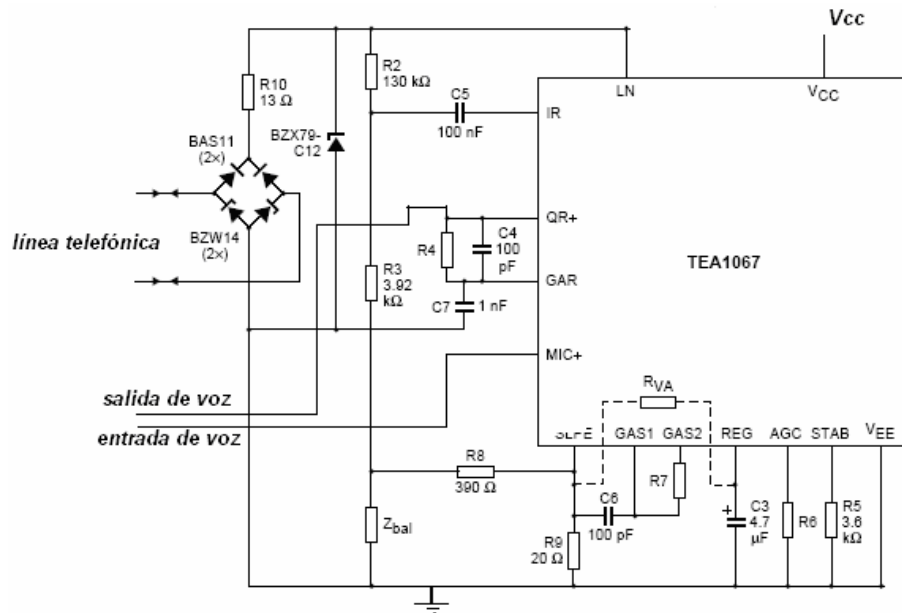


Figura 2.5. Diagrama eléctrico del circuito de voz TEA1067

2.4. Detector de Ring Back (Decodificador de tonos LM567)

El LM567 es un circuito decodificador de tonos de propósito general, se basa en la saturación de un transistor; cuando está presente una señal en el filtro pasa bandas, mantiene la salida en 0 V, en caso contrario se encuentra en 5 V [15]. El circuito es controlado por un oscilador que determina su frecuencia central; su ancho de banda depende de los circuitos externos pero no de la frecuencia central. Este circuito recibe las señales presentes en la línea telefónica y está configurado a la frecuencia central de 425 Hz; de acuerdo a las especificaciones del fabricante, dicha frecuencia se establece con un circuito externo RC mediante la expresión $F_0 = 1/1.1RC$. De esta forma, utilizando un resistor de 4.7 kΩ y un capacitor de 0.47 μF se consigue el objetivo.

La función principal de este circuito es establecer en su salida un nivel de 0V cuando está presente un tono de 425 Hz en la línea telefónica. De esta forma, el sistema de control, mediante una terminal de entrada, detecta el cambio de voltaje y mide el tiempo de presencia de los 0 V. Conociendo la duración de este nivel de voltaje, el sistema de control

determina si está presente el tono de invitación a marcar, el tono de Ring Back o el tono de ocupado.

La operación de las terminales más sobresalientes del circuito se muestra en la tabla 2.3 y en la figura 2.6 se muestra el diagrama eléctrico del circuito, considerando que los valores de los componentes pasivos, excepto el circuito RC que se mencionó anteriormente, son propuestos por el fabricante.

Terminales	Entrada / salida	Función
Vcc y Vss	Entrada	Alimentación eléctrica de 5 V
Capacitor-Resistor de temporización	Entrada	Define la frecuencia central de operación (circuito RC)
Ring Back	Salida	Indicador de la presencia de la señal de Ring Back (activo en 0 V)

Tabla 2.3. Especificación de las terminales más importantes del circuito LM567

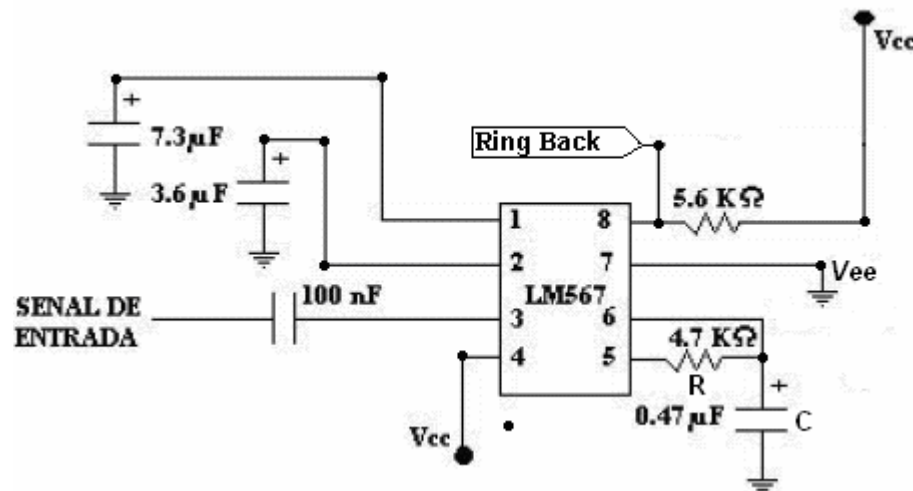


Figura 2.6. Diagrama eléctrico del circuito detector de Ring Back

2.5. Detector de timbrado (MC34012)

El circuito MC34012, mostrado en la figura 2.7, se basa en un puente de diodos interno y un circuito de protección de alto voltaje en su salida [16]. En presencia del tono de timbrado, el MC34012 establece un nivel de 5 V en su salida. Este voltaje es leído por el

sistema de control y representa una indicación de que se está recibiendo una petición de llamada. Por lo tanto, el sistema central debe contar el número de veces que se realiza éste cambio para efectuar el descolgado y ejecutar las subsecuentes operaciones para establecer la comunicación. En la salida de este circuito está conectado un optoacoplador MOC AN15, el cual sirve de protección contra voltajes elevados para el sistema de control [17].

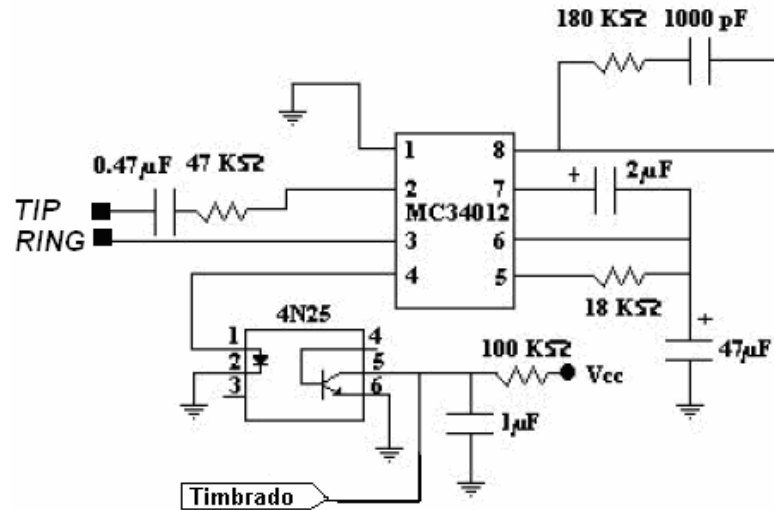


Figura 2.7. Diagrama eléctrico del circuito detector de timbrado

En la tabla 2.4 se describen las terminales más importantes de éste circuito.

Terminales	Entrada / salida	Función
No. 2 y No. 3	Entrada	Entrada de la línea telefónica (Tip y Ring)
No. 4	Salida	Indicador de la presencia de llamada en la línea telefónica (activo en 0 V)

Tabla 2.4. Especificación de las terminales más importantes del circuito MC34012

2.6. Sistema de colgado, descolgado y conmutación

El circuito de colgado, descolgado y conmutación es de suma importancia para llevar el control de la comunicación entre el teléfono origen y el teléfono destino, cuando se establece la comunicación. Está conformado por 3 relevadores de doble interruptor como se ilustra en la figura 2.8. El primer relevador realiza el descolgado de la línea telefónica auxiliar 1, exclusiva para recibir las llamadas del teléfono origen. En la figura 2.8, la línea

telefónica auxiliar 1 está indicada con nombre “Línea 1”. El segundo relevador tiene la misma función que el anterior y es exclusivo para que el Sistema Central realice llamadas al teléfono destino. En la figura 2.8, la línea telefónica auxiliar 2 está indicada con el nombre “Línea 2”. El tercer relevador es utilizado para intercambiar el enlace o comunicación entre el Sistema Central y el teléfono origen y el enlace entre el Sistema Central y el teléfono destino.

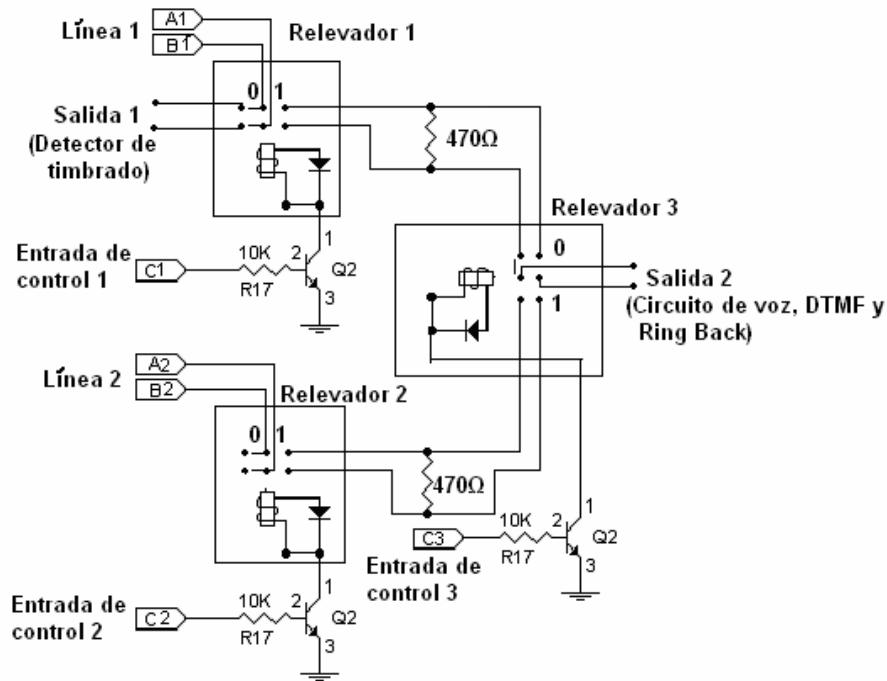


Figura 2.8. Diagrama del sistema de colgado, descolgado y conmutación

Como se muestra en la figura 2.8, la salida del relevador 1, es decir, la terminal normalmente cerrada, está conectada al circuito detector de timbrado. De esta manera, el microcontrolador del Sistema Central deberá estar sensando permanentemente la salida del circuito de timbrado para que después de recibir tres veces el tono de timbrado, se realice el descolgado automático de la línea telefónica auxiliar 1. La acción del descolgado es realizada por el microcontrolador y está indicada en la figura 2.8 como “Entrada de control 1”. Con esto, se establece la conexión entre el teléfono origen y el Sistema Central. Por otro lado, la salida del relevador 3 está conectada al circuito de voz, al decodificador DTMF y al detector de Ring Back. De esta forma, el Sistema Central controla la recepción de los

dobles tonos, el envío y recepción de la señal de voz, así como el estado del teléfono destino al realizarse la petición de llamada.

Finalmente, el relevador 2, que también se activa a través del microcontrolador, funciona en conjunto con el relevador 3 para realizar el descolgado automático de la línea telefónica auxiliar 2. Cabe mencionar que el estado 0 mostrado en los relevadores de la figura 2.8, representa la condición de conexión normalmente cerrada.

Considerando las entradas y salidas del circuito mostrado en la figura 2.8 y descrito anteriormente, a continuación se muestra la tabla de verdad con la que se rige el circuito.

Estado	C1	C2	C3	Salida 1	Salida 2	Estado de línea 1	Estado de línea 2
0	0	0	0	Línea auxiliar 1	Circuito abierto	Colgado	Colgado
1	1	0	0	Circuito abierto	Línea auxiliar 1	Descolgado	Colgado
2	1	0	1	Circuito abierto	Línea auxiliar 1	Descolgado	Descolgado
3	1	1	1	Circuito abierto	Línea auxiliar 2	Descolgado	Descolgado

Tabla 2.5. Tabla de verdad del circuito de colgado, descolgado y conmutación

2.7. Visualizador de Cristal Líquido (LCD AND 491)

Este es un dispositivo de salida que permite la comunicación entre el sistema portátil y el usuario sordomudo, ya que mediante este dispositivo se visualiza el número telefónico marcado y los mensajes recibidos y enviados. La forma de operar de este dispositivo es a través de comandos o instrucciones que son enviados por el sistema de control [18]: El display LCD consta de 16 terminales y sus funciones se muestran en la tabla 2.6. De la misma forma, en la figura 2.9 se muestra el diagrama eléctrico de éste dispositivo.

Terminales	Entrada / salida	Función
Vdd y Gnd	Entrada	Alimentación eléctrica (5 V)
Voltaje de control del LCD	Entrada	Configurar la intensidad de la iluminación del display
RS	Entrada	Indicador de tipo de información: comando/dato (0 V comando y 5 V dato)
R/W	Entrada	Indicador de lectura (5 V) o escritura (0 V) del LCD
E	Entrada	Activación/desactivación del LCD
DB0-DB8	Entrada/Salida	Bus de datos de 8 ó 4 bits
LED+ , LED-	Entrada	Alimentación eléctrica del LED del LCD

Tabla 2.6. Especificación de las terminales más importantes del LCD

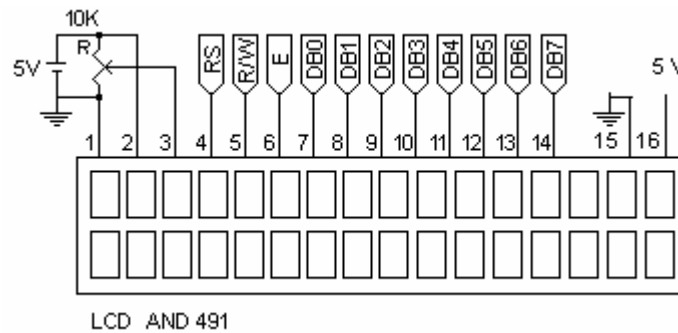


Figura 2.9. Diagrama eléctrico del display de cristal líquido (LCD)

2.8. Sistema de Control (microcontrolador AT90S2313)

El circuito que se utilizó tanto para el Sistema Central como para el Portátil es el microcontrolador AT90S2313 de la firma Atmel Corporation [19], que tiene las características requeridas para esta aplicación: 2 kbytes de memoria flash para las instrucciones del programa, 128 bytes de SRAM, 128 bytes de EEPROM, 15 líneas de entrada y salida de propósito general, 32 registros de propósito general, 2 timers/contadores de 8 y 16 bits, interrupciones internas y externas, comunicación serie (UART) programable, oscilador interno (watch dog) y 2 formas de programación (serie y paralela). En otras palabras, con los 15 pines de entrada y salida que dispone el microcontrolador, es suficiente para controlar las 12 líneas (como máximo) requeridas por todos los circuitos periféricos, tanto del Sistema Central como del Sistema Portátil. Además, el Sistema Central debe enviar datos a la computadora personal y este microcontrolador cuenta con un módulo

interno para la interfaz serial, el cual es compatible con la computadora para la transmisión y recepción de datos. Otra característica que el sistema necesita es que el microcontrolador disponga de un circuito para determinar el tiempo (Timer); este microcontrolador cuenta con 2 contadores de tiempo, los cuales se ajustan a la necesidad requerida. Otra característica muy importante es la facilidad de programación; para esta aplicación se tienen todas las instrucciones necesarias. Finalmente, no necesita de muchos componentes externos, tan solo 2 capacitores y un cristal a la frecuencia de 8 MHz.

El controlador del Sistema Central tiene las funciones siguientes: 1) Detecta la presencia de una llamada a través de la terminal de entrada 8, en la cual está conectado el circuito detector de timbrado. 2) A través de la terminal 17, que funciona como salida, se realiza el descolgado de la línea telefónica auxiliar 1 cuando detecta una llamada entrante. 3) A través de las terminales 12, 13, 14 y 15 lee los datos de 4 bits que están presentes en el circuito DTMF para procesarlos y convertirlos a letras o ejecutar el comando en caso de que lo sea. 4) A través de la terminal 16, que funciona como salida, realiza el descolgado automáticamente de la línea telefónica auxiliar 2 para marcar el número telefónico indicado por el teléfono origen. 5) Llevar el control de la comunicación entre la línea telefónica destino y la línea telefónica origen. 6) Verificar el estado de la línea telefónica origen y de la línea telefónica destino. 7) Enviar y recibir datos de la computadora a través del puerto serie. De esta forma, en la figura 2.10 se muestra el diagrama esquemático del microcontrolador del Sistema Central indicando las entradas y salidas correspondientes.

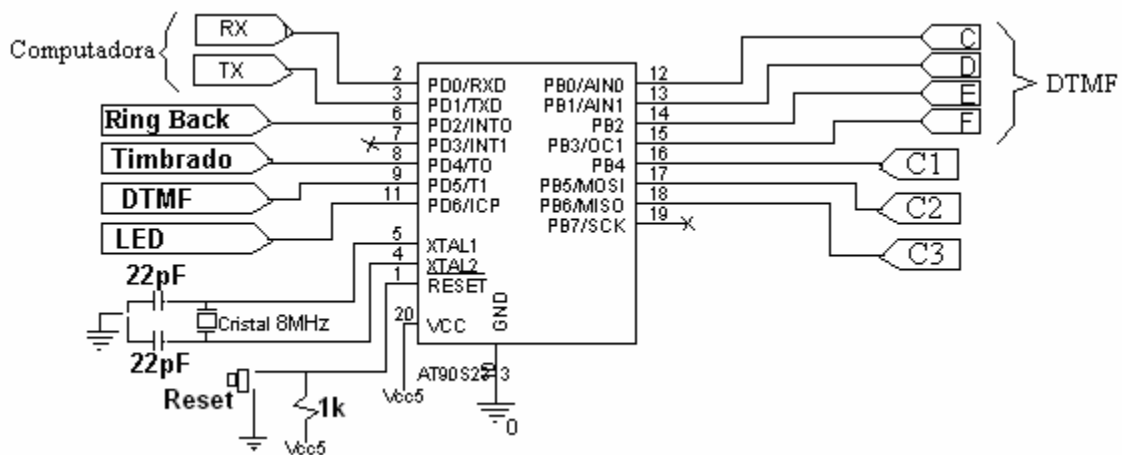


Figura 2.10 Diagrama eléctrico del controlador del Sistema Central

Por otro lado, el controlador del Sistema Portátil, mostrado en la figura 2.11, cuenta con las siguientes funciones: 1) A través de la terminal 7, detecta la presencia del tono de invitación a marcar, en otras palabras, verifica si el Sistema Portátil está conectado a un aparato telefónico. 2) A través de las terminales 6, 12, 13, 14 y 15 se leen los datos de 4 bits que están presentes en el circuito DTMF, para procesarlos y convertirlos a letras o ejecutar el comando en caso de que lo sea. 3) Verifica el estado de la línea telefónica en la cual está conectado, es decir, realiza la detección de la señal de ocupado y la señal de Ring Back. 4) Finalmente, a través de las terminales 8, 9, 16, 17, 18 y 19 se envían los números telefónicos decodificados y los mensajes escritos o recibidos al visualizador de cristal líquido (LCD).

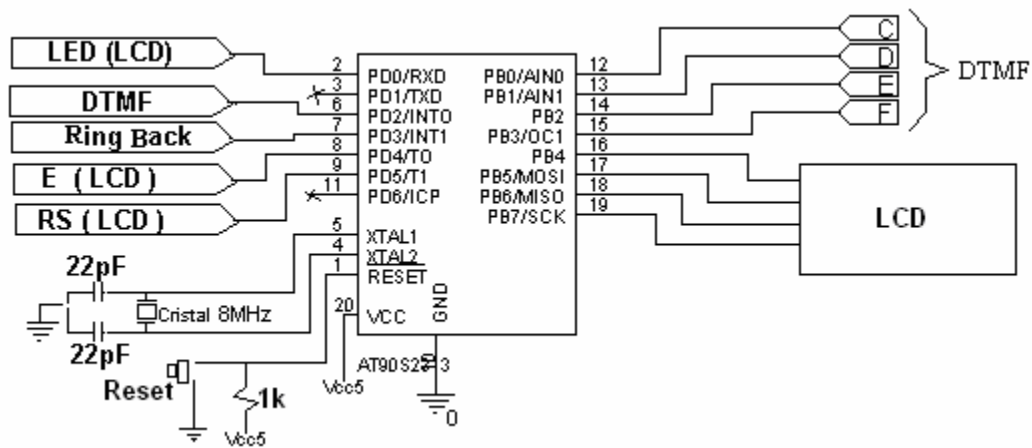


Figura 2.11. Diagrama eléctrico del controlador del Sistema Portátil

En resumen, hasta este momento se han descrito las características, las funciones principales y las conexiones de los circuitos que se utilizaron tanto en el Sistema Portátil como en el Sistema Central y en el siguiente capítulo se describirán los programas tanto de los microcontroladores de cada sistema como el programa que reside en la computadora que hace posible la interacción de todos los circuitos.

3. Descripción del Software

3.1. Introducción

En este capítulo se describen los diagramas de flujo de los programas que están grabados en la memoria del microcontrolador, tanto del Sistema Central como del Sistema Portátil. Por otro lado, se describen los programas “motor de voz” y “reconocedor de voz” que se ejecutan dentro de la computadora y que constituyen el corazón de todo este sistema propuesto.

Antes de comenzar a describir los programas mencionados en el párrafo anterior, es conveniente recalcar que para comunicar a los dos usuarios, serán necesarias tres etapas o pasos importantes, los cuales se muestran en la figura 3.1. La primera etapa es establecer la comunicación, la segunda es realizar la comunicación y la tercera es finalizarla.

En otras palabras, es necesario que el usuario origen comience con una petición de llamada al Sistema Central, es decir, marque el número telefónico de la línea auxiliar 1. Como respuesta, el Sistema Central le indicará al usuario origen que está en espera del número telefónico del usuario destino. Al terminar la marcación de dicho número, el Sistema Central realiza una petición de llamada a través de la línea auxiliar 2, es decir, marca el número telefónico del usuario destino. Al contestar dicho usuario, enviará una notificación al usuario origen. Con esta última acción, se finaliza la primera etapa.

La segunda etapa a realizarse es la comunicación propiamente dicha, la cual comienza con el usuario origen, es decir, con el envío del primer mensaje. Al ser recibido este mensaje por el Sistema Central, se realiza la conversión de texto a voz para enviarla al usuario destino. Para cerrar el primer ciclo de comunicación, el usuario destino contesta, el mensaje de voz es convertido a texto en el Sistema Central y finalmente lo envía al usuario origen. Este último proceso puede realizarse varias veces hasta que el usuario

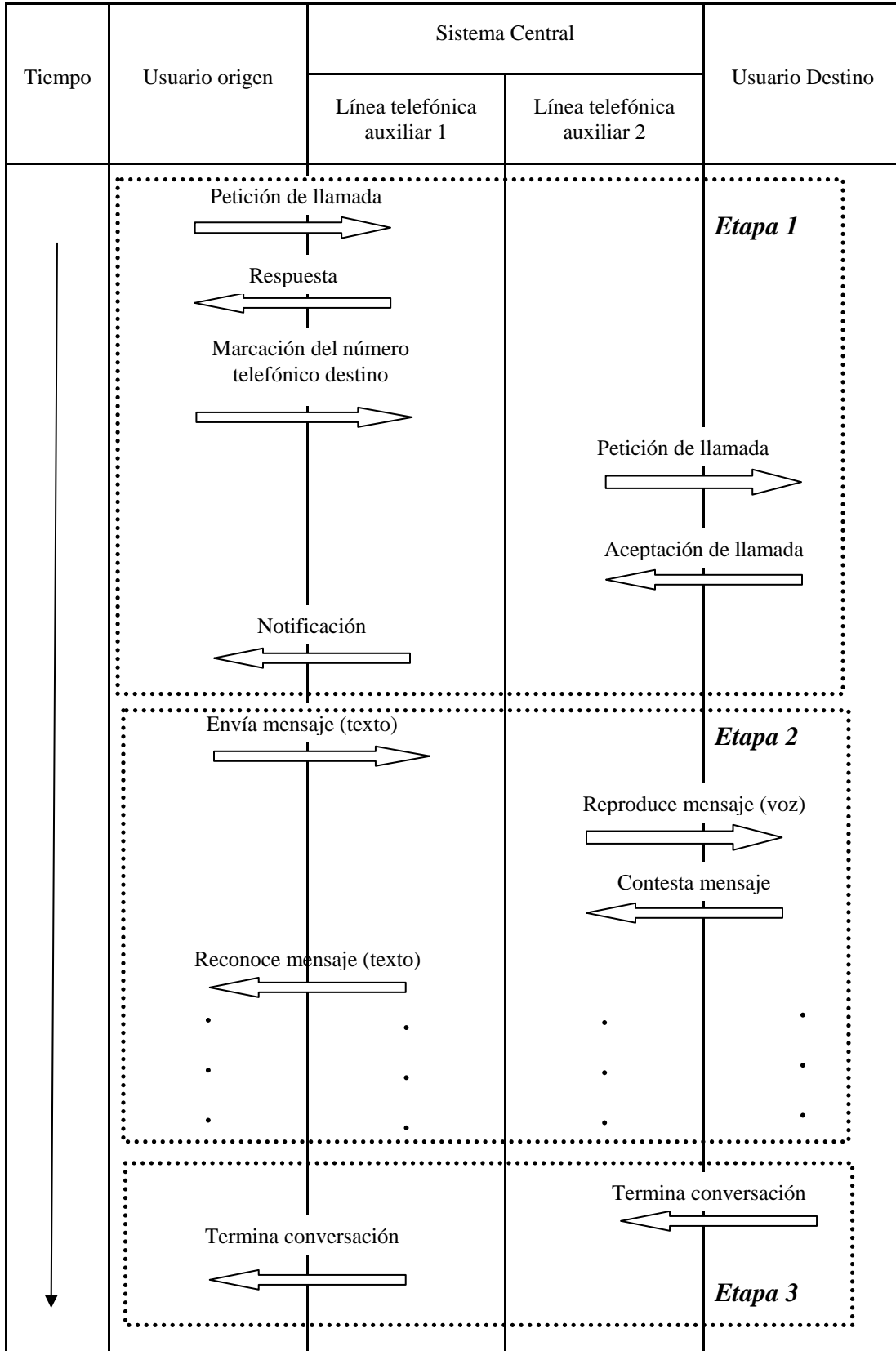


Figura 3.1 Resumen del intercambio de información entre el usuario origen y el destino

destino disponga a finalizarlo, quien es el encargado de realizar la tercera y última etapa. En este caso, el Sistema Central le notificará al usuario origen que se ha finalizado la llamada y por lo tanto, el Sistema Portátil y el Sistema Central quedan nuevamente en espera de una nueva petición de llamada.

3.2. Programa del microcontrolador del Sistema Central

Como pudo observarse en la figura 3.1, las diferentes etapas del programa general son realizadas tanto por el microcontrolador del Sistema Portátil y del Sistema Central, como por la computadora personal. En este sentido, la descripción detallada de los programas será realizada con respecto a los sistemas y no a las etapas. Para comenzar, el programa que reside en el microcontrolador del Sistema Central está estructurado en tres partes principales. La primera parte consta de un conjunto de subrutinas necesarias para configurar la operación del microcontrolador, como son el temporizador (Timer) y el puerto serial (UART). La segunda consta de una subrutina que sirve para establecer la comunicación entre el usuario origen y el usuario destino; esta subrutina realiza la detección de la llamada entrante, la recepción del

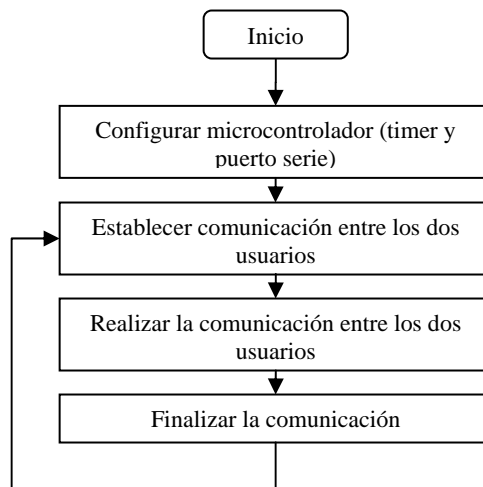


Figura 3.2 Diagrama de flujo del programa residente en el microcontrolador del Sistema Central

número destino, el marcaje de dicho número y el envío de un mensaje de aviso hablado al usuario destino. La última parte consta de subrutinas que se utilizan para realizar la

comunicación entre los dos usuarios. En la figura 3.2 se muestra el diagrama de flujo general del programa residente en el microcontrolador del Sistema Central.

3.2.1 Configuración del microcontrolador

Configuración del Timer0

La función esencial del temporizador del microcontrolador es medir el tiempo de presencia de los tonos que indican el estado de la línea telefónica. En otras palabras, conociendo el tiempo de presencia de un tono, el microcontrolador determina la señalización de la línea telefónica, ya sea del tono de invitación a marcar (tono continuo), el tono de ocupado (tono interrumpido a 120 IPM) ó el tono de Ring Back (3 segundos de ausencia y 1 segundo de presencia).

Para configurar el temporizador, es necesario activar la interrupción del timer y activar el timer. En el primer caso, la interrupción se activa al escribir un 1 en el bit TOIE0 del registro TIMSK en la memoria interna del microcontrolador. Por consiguiente, debe escribirse el valor 02H en el registro TIMSK. Por otro lado, para activar el timer es necesario escribir un valor apropiado en el registro TCCR0. Para la aplicación de este trabajo, se le asignó el valor de 04H.

Configuración del puerto serie del microcontrolador (UART)

La función principal del puerto serie es convertir de paralelo a serial los datos almacenados en la memoria interna para la transmisión y recepción. Este puerto es transmisor y receptor universal asíncrono, pudiendo realizar ambas operaciones de manera simultánea (full duplex). El puerto serie de este microcontrolador trabaja en dos modos. El modo 0, con una unidad de transmisión o recepción de 8 bits y el modo 1, con una unidad de transmisión o recepción de 9 bits. Por lo tanto, para elegir el primer modo será necesario activar el bit 2 del registro UCR o desactivarlo para el segundo modo. Otro paso necesario para que la UART realice su función es activar la interrupción de transmisión y recepción.

Este paso es importante, debido a que el microcontrolador, por lo general, estará ejecutando instrucciones que no tienen ninguna relación con este puerto y dicha ejecución deberá ser detenida para dar servicio a esta interrupción. Para activar las interrupciones, es necesario asignarle un valor al registro UCR de la memoria interna del microcontrolador. Para este caso, el valor escrito en este registro fue 98H, indicando la activación de la interrupción de recepción, la activación de recepción y transmisión completa aun cuando se desactive el puerto y finalmente el modo en que trabajará la UART.

Otro parámetro a configurar del puerto serie es la velocidad de transmisión, que puede ser especificada desde 2400 hasta 115200 bits por segundo (baud rate). La velocidad de transmisión depende directamente del valor asignado al registro UBRR. De acuerdo a las especificaciones del fabricante, dicho valor se obtiene mediante la expresión $UBRR = f_{clk}/16(\text{baud rate}) - 1$. De esta forma se obtuvo el valor de UBRR igual a 51, indicando un baud rate igual a 9600 bits/s.

3.2.2. Establecimiento de la comunicación entre los dos usuarios

Después de configurar todos los dispositivos necesarios, como son el temporizador y el puerto serie, el controlador del Sistema Central se encuentra disponible para establecer la comunicación, es decir, para realizar la primera etapa de comunicación mencionada en la figura 3.1. El diagrama detallado de flujo a seguir se muestra en la figura 3.3. En esta etapa, el sistema de control se detiene para sensar la presencia de una llamada telefónica entrante a través de la línea telefónica auxiliar 1. En este punto, cabe mencionar que la llamada entrante se considera válida solamente después de la detección de tres tonos de timbrado. Al detectarse la llamada entrante o petición de llamada válida, el microcontrolador del Sistema Central realiza el descolgado automático de la línea telefónica auxiliar 1, de tal manera que se establezca la comunicación entre el teléfono origen y dicha línea.

Después de esto, el controlador del Sistema Central envía un mensaje de notificación a la computadora. Dicho mensaje consiste en la letra "C". Al recibir la

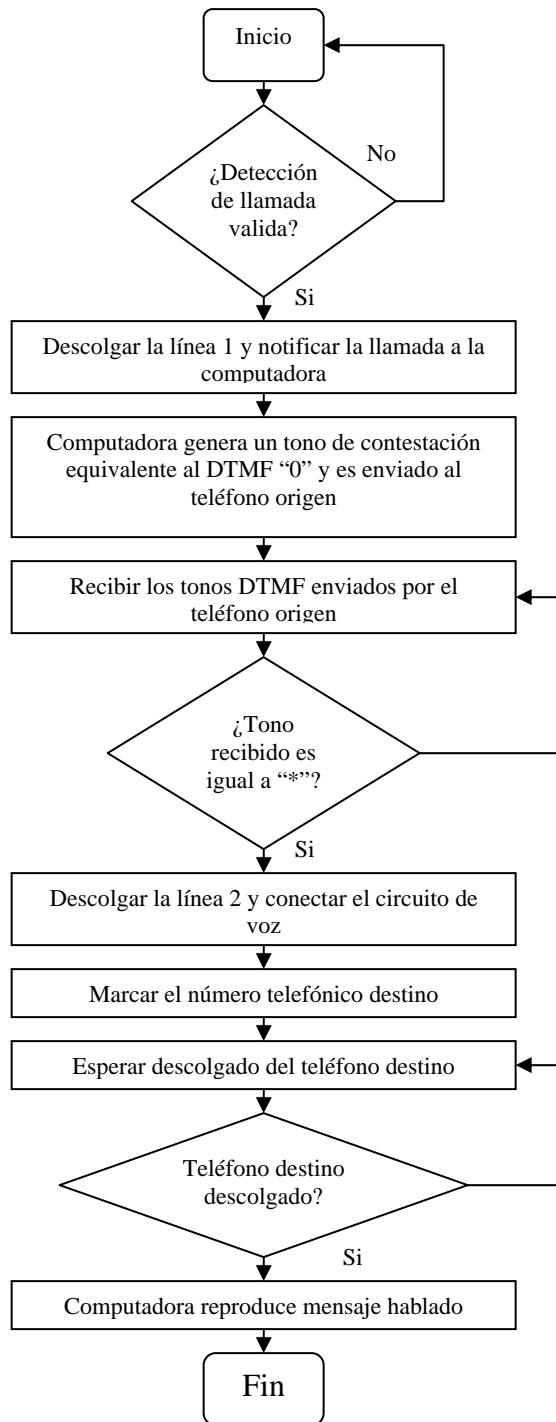


Figura 3.3 Diagrama de flujo para el establecimiento de la comunicación entre los dos usuarios

notificación, la computadora envía un mensaje de respuesta al Sistema Portátil para indicar que la petición de llamada fue aceptada. El mensaje de respuesta consiste en un doble tono correspondiente al número “0”. Después de establecer la comunicación con el teléfono origen, el controlador del Sistema Central se mantiene en espera del número telefónico

destino enviado desde el teléfono origen. Después de la recepción de cada dígito, el microcontrolador lo envía a la computadora para que sea almacenado temporalmente. El proceso se termina hasta la detección del doble tono correspondiente al “*”, que funciona como un indicador de fin de número telefónico. Una vez detectado el número telefónico destino, se conmuta a la línea telefónica auxiliar 2 y se descuelga automáticamente dicha línea. Inherentemente, al descolgarse la línea telefónica auxiliar 2 se conecta automáticamente el circuito de voz. Teniendo la línea telefónica auxiliar 2 en estado de descolgado, se verifica si está disponible para realizarse el marcaje del número destino. Si está disponible ésta línea, el Sistema Central le notifica a la computadora; en este instante la computadora está en condiciones apropiadas para realizar la marcación del número telefónico destino. Después de la marcación del número telefónico destino, el microcontrolador debe detectar el descolgado de dicho teléfono. Esta acción se realiza por medio del detector de Ring Back. Al detectarse el descolgado, el microcontrolador avisa a la computadora para que se reproduzca el mensaje “Usted tiene una llamada telefónica de parte de una persona que no puede hablar”. Con el envío de este mensaje se termina el establecimiento de la comunicación entre el usuario origen y el usuario destino.

3.2.3. Comunicación entre los dos usuarios

Cuando el controlador del Sistema Central ha finalizado el establecimiento de la comunicación o la primera etapa, continúa con la conversación entre los dos usuarios, como se muestra en el diagrama de flujo la figura 3.4. Esta función constituye uno de los bloques más importantes que utiliza tanto el Sistema Central como el Sistema Portátil y que para ambos es idéntico. En otras palabras, esta subrutina permite que el usuario origen, al momento de escribir el mensaje, visualice los caracteres en el display (LCD). Por otra parte, al Sistema Central le permite identificar los caracteres y enviarlos a la computadora para que en ella se forme una frase. En efecto, esta subrutina se ejecuta en paralelo en los dos sistemas de control, tanto del Sistema Portátil como del Sistema Central. La única diferencia que existe entre la subrutina que se ejecuta en el Sistema Portátil y la que se ejecuta en el Sistema Central, es que la primera envía el carácter al visualizador de cristal líquido (LCD) y la segunda lo envía a la computadora.

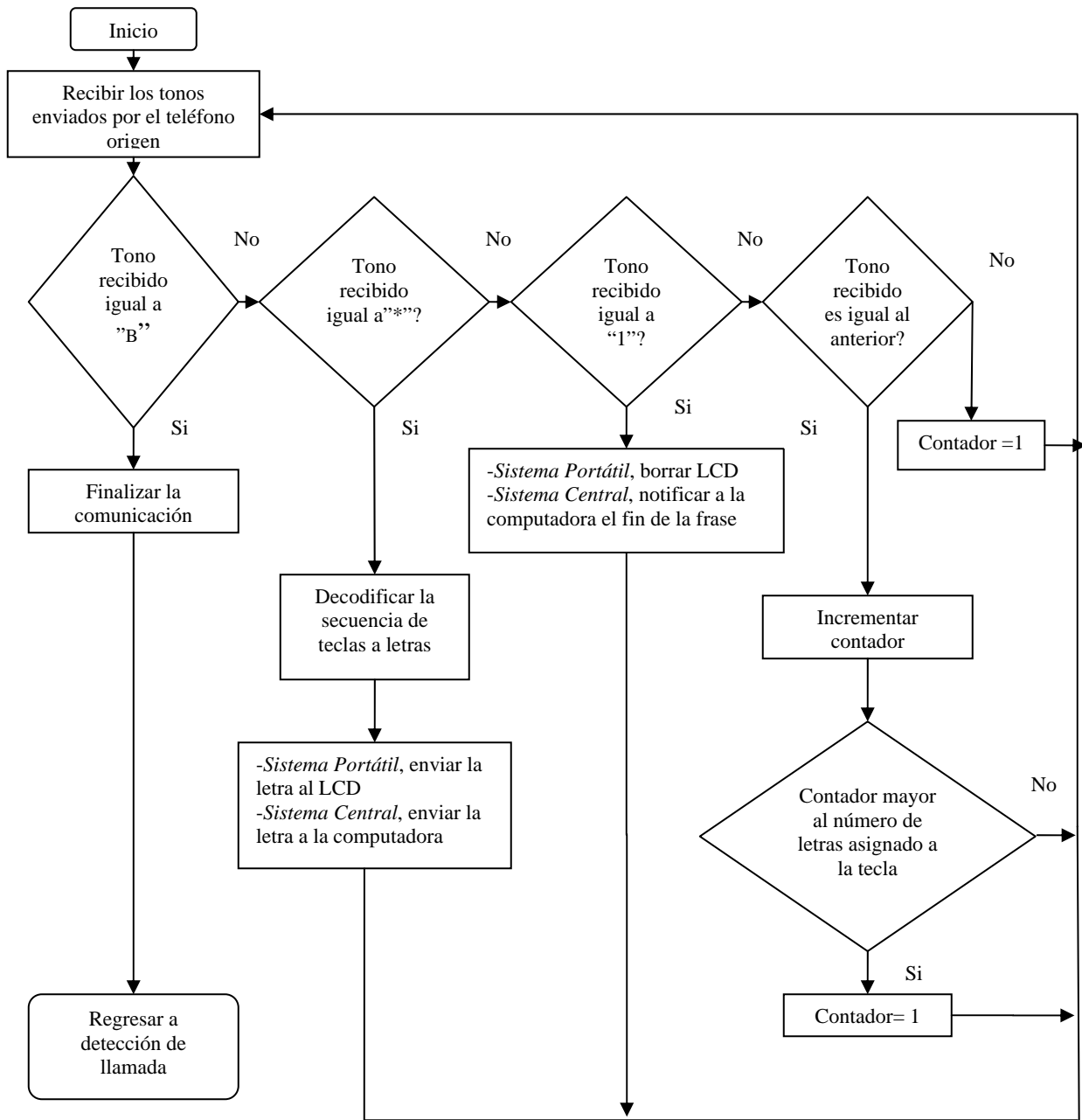


Figura 3.4. Diagrama de flujo de la subrutina de comunicación entre los dos usuarios

De manera específica, ésta subrutina realiza la tarea de decodificar las secuencias de datos que recibe del decodificador DTMF a través del puerto de entrada del microcontrolador. En esta etapa de decodificación existen algunos puntos importantes. El primero es mencionar que los tonos DTMF pueden provenir del teclado del teléfono en donde está conectado el Sistema Portátil, pero también pueden provenir del Sistema Central, en otras palabras, cuando el Sistema Central le esté enviando mensajes al Sistema Portátil. Por lo tanto, esta subrutina no diferencia estas dos fuentes. El otro punto

importante es acerca de la codificación asignada a cada caracter o letra. En este sentido debe mencionarse que cada tecla del aparato telefónico tiene asignadas tres letras y un número. Comúnmente son utilizadas las teclas para la marcación de números telefónicos, pero pueden utilizarse para la marcación de letras. Esto se realiza identificando el número asociado a la tecla y su posición relativa en dicha tecla. De esta forma, la letra posicionada a la izquierda de la tecla corresponderá a la marcación simple del número correspondiente, la tecla posicionada en el centro corresponderá a la marcación doble del número y la letra posicionada a la derecha corresponderá a la marcación triple del número correspondiente. Así por ejemplo, en el caso de la tecla 2 se tienen asignadas las letras a, b y c, como se puede verificar en la tabla 3.1. Para seleccionar la letra “a”, es necesario presionar una sola vez la tecla 2, para la “b” es necesario presionarla dos veces y para la “c” es necesario presionarla tres veces. Por otro lado, la manera en que el sistema de control realiza la decodificación es por medio de un contador (CTR), el cual analiza el número de veces que se presiona la misma tecla (TCL) y finaliza al detectarse la tecla “*”.

Teclas del teléfono (valor de la tecla)	Valor del contador (Número de veces que se presiona la tecla)		
	1	2	3
1	Comando	No definido	No definido
2	a	B	c
3	d	E	f
4	g	H	i
5	j	K	l
6	m	N	o
7	p	Q	r
8	s	T	u
9	v	W	x
0	y	Z	No definido
*	Comando	Espacio	No definido
#	No definido	No definido	No definido

Tabla 3.1. Secuencia de teclas y su correspondencia a letras

Cuando la subrutina ha detectado la presencia de la tecla “*”, procede a convertir esa secuencia a una dirección (DIR) de memoria, especificada por la expresión $DIR=TCL*10+CTR$. Dicha expresión se propone a partir de la manera en que están almacenados los caracteres en la memoria interna del microcontrolador. De manera similar, la marcación doble del asterisco indica el espacio entre dos palabras. El mapa de memoria

del microcontrolador en donde están almacenados los caracteres se puede verificar en la tabla 3.2.

Dirección de la memoria en Hexadecimal	Contenido de la memoria	Dirección de la memoria en Hexadecimal	Contenido de la memoria
200	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----
215	a	247	p
216	b	248	q
217	c	249	r
-----	-----	-----	-----
21F	d	251	s
220	e	252	t
221	f	253	u
-----	-----	-----	-----
229	g	25B	v
22A	h	25C	w
22B	i	25D	x
-----	-----	-----	-----
233	j	265	y
234	k	266	z
235	l	267	---
-----	-----	-----	-----
23D	m	-----	-----
23E	n	-----	-----
23F	o	-----	-----

Tabla 3.2. Mapa de memoria del microcontrolador donde están almacenadas las letras correspondientes a la secuencia de teclas

Siguiendo con la descripción de la rutina de comunicación entre los dos usuarios, cuando se recibe la tecla “1”, el Sistema Central envía un mensaje de notificación a la computadora. Dicho mensaje consiste en el valor de 15, con el que se indica que la computadora tiene que convertir el texto recibido a voz. Por otro lado, cuando el Sistema Portátil recibe dicha tecla procede a borrar el display y espera la respuesta del otro usuario. Cabe mencionar que el encargado de finalizar la comunicación es el usuario destino y al cumplirse esta condición la computadora notifica al Sistema Central que ha finalizado la

llamada y que debe colgar las dos líneas (línea telefónica auxiliar 1 y línea telefónica auxiliar 2). Simultáneamente se reproduce el doble tono correspondiente a “B”, de manera que al recibirse dicho valor en el Sistema Portátil, se termina la subrutina y se regresa a esperar el tono de invitación a marcar.

Finalmente, es necesario recalcar que tanto en la subrutina de establecimiento de la comunicación como en la comunicación entre los dos usuarios, es necesario que la computadora notifique ciertos eventos al Sistema Central y esto se realiza por medio del servicio de interrupción del puerto serie. Este servicio de interrupción solamente se ejecuta cuando se recibe un nuevo dato en la UART, el cual es enviado por el programa que reside dentro de la computadora. Esencialmente estos datos son interpretados como comandos y el programa de la computadora los envía, ya sea para el descolgado, colgado o conmutación de cualquiera de las dos líneas telefónicas auxiliares que están conectadas al Sistema Central.

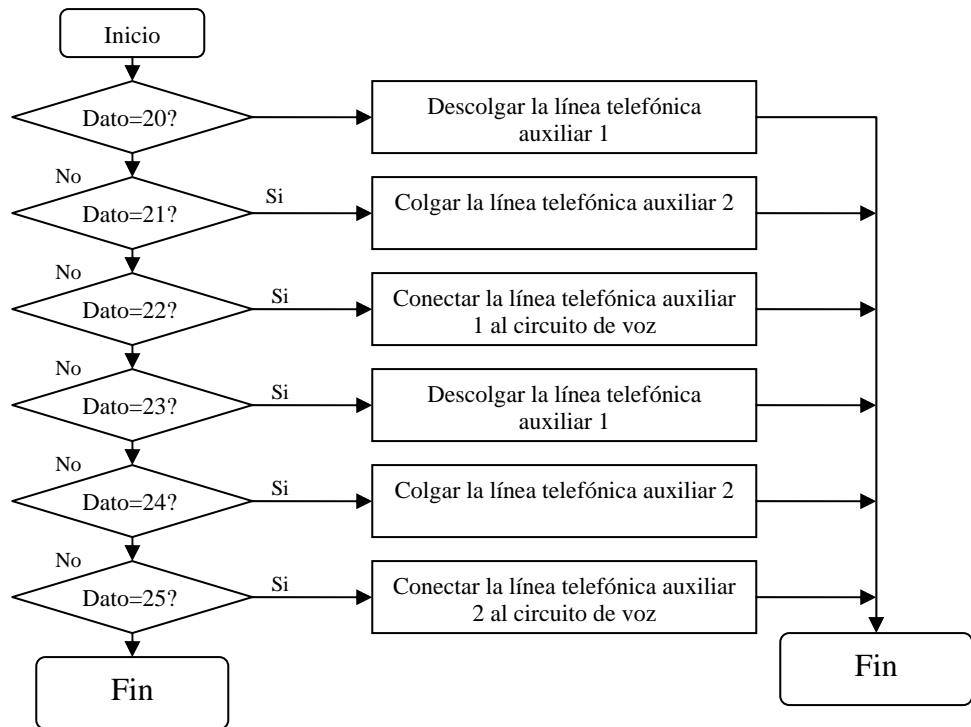


Figura 3.5. Diagrama de flujo del servicio de interrupción del puerto serie

En la figura 3.5 se muestra el diagrama de flujo que corresponde al servicio de interrupción del puerto serie del microcontrolador del Sistema Central. Como se puede

observar, se basa en la comparación del dato recibido, de tal manera que al ser acertada la comparación, se ejecuta la acción respectiva, que puede ser el descolgado, colgado y conmutación de las líneas telefónica auxiliares.

3.3. Programa del microcontrolador del Sistema Portátil

El Sistema Portátil, de manera similar al Sistema Central, cuenta con un sistema de control basado en un microcontrolador que permite coordinar todos sus dispositivos asociados. De estos, el más importante es el visualizador de cristal líquido (LCD) ya que representa la interfaz entre el usuario origen y el sistema en general. Cabe hacer mención que el controlador del Sistema Portátil dispone de funciones o subrutinas similares a las implementadas en el Sistema Central. Por lo tanto, solo se describirán las subrutinas que son esencialmente diferentes a las ya descritas en la sección anterior.

El dispositivo de visualización, antes de ser utilizado debe configurarse de manera que pueda funcionar apropiadamente y emplee la mínima cantidad de pines del microcontrolador para su manejo. Dentro de los parámetros a configurar se encuentran los siguientes: 1) El tamaño del bus de datos, ya sea de 8 o de 4 bits. En este caso se

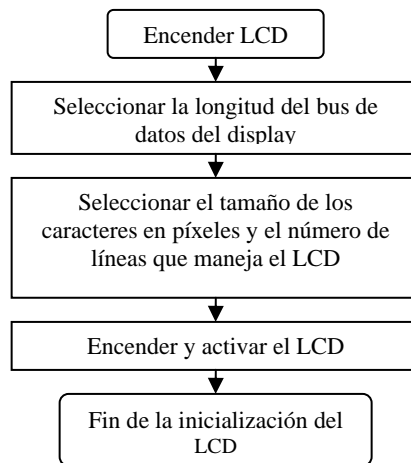


Figura 3.6. Diagrama de flujo para la configuración del LCD

utilizó la segunda opción, logrando minimizar el número de pines a utilizar del microcontrolador. 2) El tamaño del caracter en pixeles y 3) El número de líneas del LCD;

en este caso se utilizó un tamaño de caracter de 5x7 pixeles y 2 líneas o renglones de visualización. Otras de las especificaciones iniciales al LCD son el encendido del cursor y la activación propiamente dicha del LCD. De esta manera, tomando en consideración la secuencia de comandos proporcionada por el fabricante, en la figura 3.6 se muestra el diagrama de flujo para la configuración del display.

3.3.1. Establecer la comunicación con el Sistema Central

Después de realizar la configuración de los dispositivos, que básicamente la etapa de configuración se refiere únicamente al LCD, el Sistema Portátil está disponible para realizar su trabajo, siguiendo el diagrama de flujo mostrado en la figura 3.7. Para comenzar, al encenderse el Sistema Portátil se muestra en el LCD el mensaje “Esperando tono”, indicando los siguientes estados: no está conectado a ningún aparato telefónico, la línea telefónica está ocupada, la central telefónica no está disponible al no enviar el tono de invitación a marcar o no se ha descolgado el aparato telefónico. De esta manera, si después de transcurrir 4 segundos no se detecta el tono de invitación a marcar, se muestra el mensaje “Asegúrese que esté conectado”. Por otro lado, para verificar si el tono de señalización que está presente en la línea telefónica es el de invitación a marcar, será necesario que permanezca un tiempo mínimo de 1 segundo, de lo contrario será identificado como el tono de ocupado, debido a que el tiempo de presencia es de 0.25 segundos. Al detectarse el tono de invitación a marcar se procederá con la etapa 1 equivalente a establecer la comunicación y el microcontrolador mostrará el mensaje “Marque el número del sistema”, indicando al usuario que debe realizarse la marcación del número telefónico de la línea auxiliar 1 conectada al Sistema Central. Para realizarse el marcado de dicho número, se establece un tiempo limitado para que se introduzcan todos los dígitos del número telefónico. El uso de un tiempo limitado para introducir el número fue necesario para que el usuario origen, en caso de equivocarse en algún dígito de su número, cuelgue el teléfono y el sistema pueda reiniciarse automáticamente sin la necesidad de que el usuario origen realice alguna operación para dicha acción.

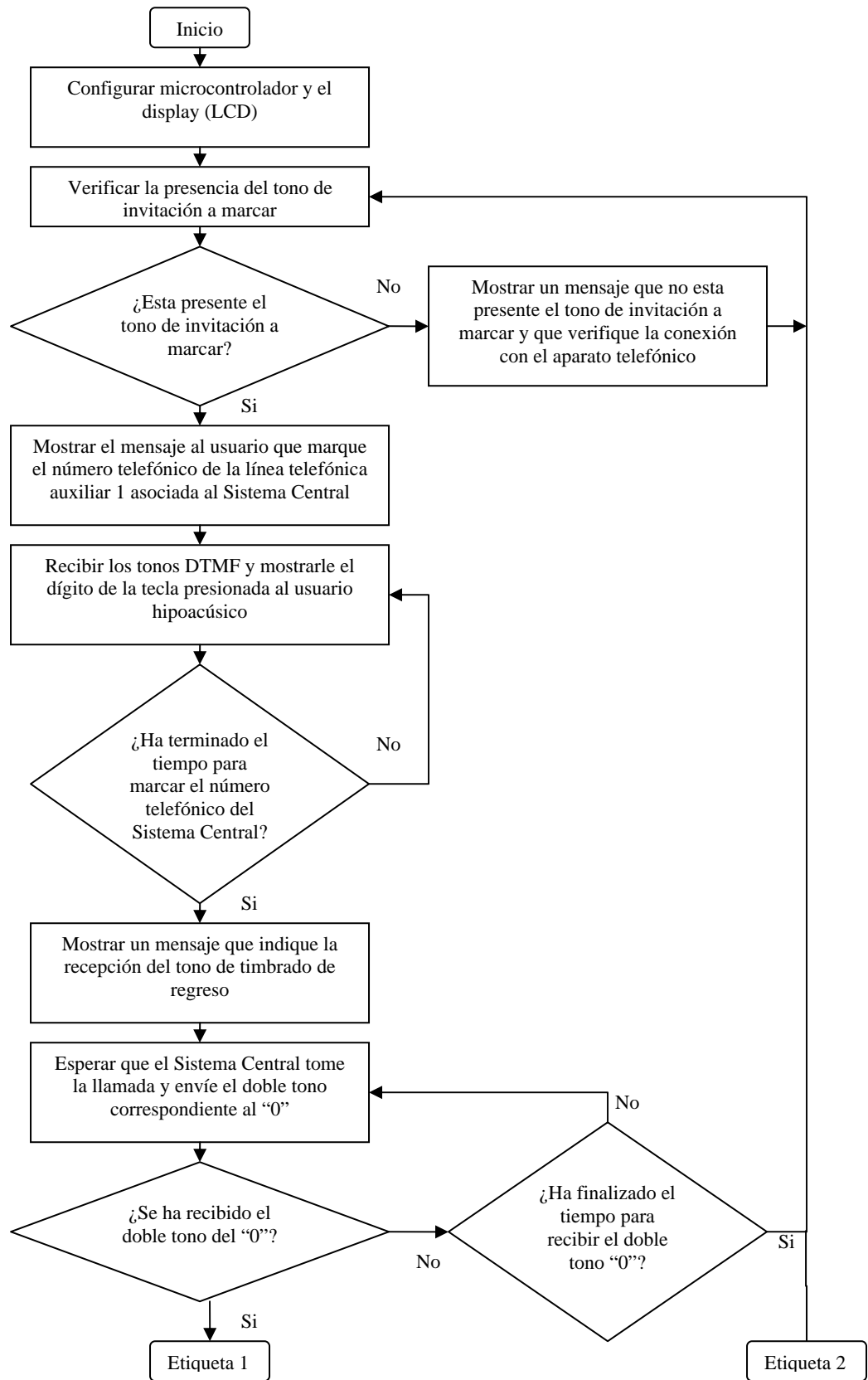


Figura 3.7. Diagrama de flujo para establecer la comunicación con el Sistema Central

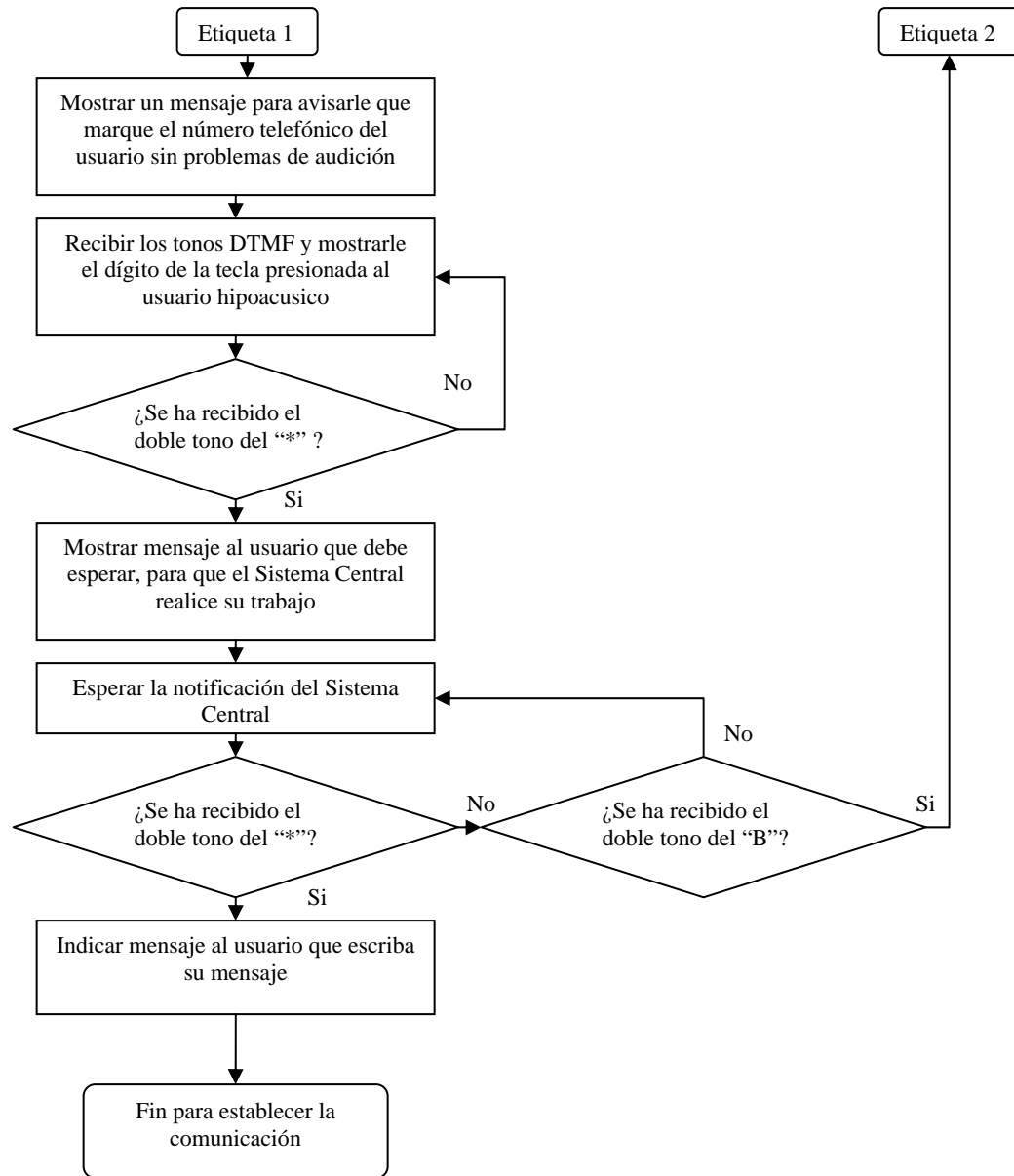


Figura 3.7. Diagrama de flujo para establecer la comunicación con el Sistema Central (continuación)

Al terminarse la marcación, el Sistema Portátil se mantendrá en espera de que su petición de llamada sea atendida. En caso de que la línea telefónica auxiliar 1 esté ocupada, el microcontrolador mostrará el mensaje “Línea ocupada, favor de colgar”, de lo contrario mostrará el mensaje “Espere”, indicando al usuario que debe esperar para que el Sistema Central atienda la llamada. En un caso especial, si el Sistema Central no toma la llamada, el Sistema Portátil cuenta con un tiempo de espera máximo de 16 segundos, equivalente a

cuatro tonos de timbrado, de manera que al finalizar este tiempo, el microcontrolador regrese a la espera del tono de invitación a marcar.

Cuando el Sistema Portátil recibe la notificación del Sistema Central, es decir, al detectarse el doble tono del “0”, se muestra el mensaje “Marque el número”, indicando al usuario que debe realizarse la marcación del número telefónico destino. Cuando el usuario origen termina de marcar el número telefónico destino, debe finalizarlo con la tecla “*”, que funciona como un indicador de fin del número telefónico. Con esto, el controlador del Sistema Portátil se mantiene en espera nuevamente de que el Sistema Central realice su función, es decir, establecer la comunicación con el teléfono destino. El estado de espera termina al recibirse la notificación del Sistema Central, la cual puede ser una notificación de que el usuario destino no contestó o una notificación de que el usuario destino aceptó la llamada. En el primer caso, el Sistema Portátil regresa a esperar nuevamente el tono de invitación a marcar, dando por terminado el proceso de establecimiento de la llamada. En el segundo caso, también se da por terminado el establecimiento de la llamada pero se muestra el mensaje “Escriba su mensaje”. Con esto, el controlador del Sistema Central ejecuta la subrutina “Realizar Comunicación” equivalente a la etapa 2 de la tabla 3.1. Para indicarle al usuario origen que es su turno para escribir, el controlador enviará al LCD el mensaje “Tu” y al finalizar de escribir el mensaje, el controlador esperará a que el usuario presione la tecla “1” indicando al Sistema Central el fin de la frase. Después de esta operación, el microcontrolador mostrará el mensaje “Dice”, indicando al usuario origen que debe esperar a que reciba el mensaje y que aparezca nuevamente el mensaje “Tu”.

3.4. Programa de la computadora

Este programa, como ya se mencionó anteriormente, es el corazón de todo este trabajo, ya que en él se realizan las dos operaciones más importantes que permiten la comunicación entre los dos usuarios.

La primera operación es la conversión de texto a voz. En este punto, es importante indicar que el programa de conversión debe recibir el texto de entrada en formato ASCII,

como se ilustra en la figura 3.8, para que después el programa lo procese internamente y lo entregue como señal de voz. Evidentemente, el texto en formato ASCII es proporcionado por el microcontrolador del Sistema Central.

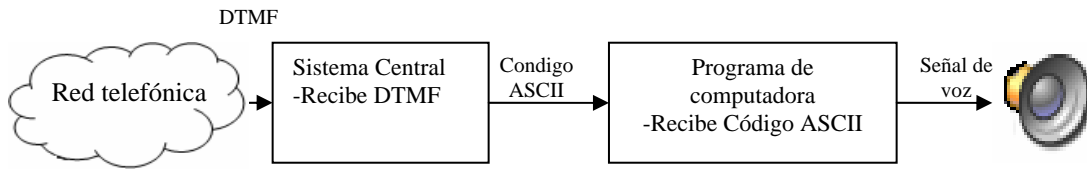


Figura 3.8. Flujo de datos para la conversión de texto a voz

El programa de conversión se realizó utilizando aplicaciones que la empresa Microsoft distribuye de manera libre, conocido como el AGENTSVR, llamado también “motor de voz” [20]. Este programa actúa como un servidor de agentes, que al ser invocado en cualquier otro programa, realiza el servicio de convertir cualquier texto a voz. El agente utilizado en esta aplicación se llama REBECCA, el cual es un personaje animado con un tono de voz femenino, mostrado en la figura 3.9. Este personaje muestra en un globo de texto el mensaje que será reproducido con señales de voz. Para su utilización, el servidor de agentes debe ser enlazado con algún lenguaje de programación y en este caso se utilizó el lenguaje Visual C++ Builder. Este programa cuenta con un componente llamado TMSAgent, el cual proporciona un manejo fácil del motor de voz. Los componentes en Builder son elementos genéricos con una funcionalidad muy concreta, cuya única finalidad es la reutilización del código fuente de dicho programa [21].



Figura 3.9. Agente de voz “Rebecca”

La segunda operación que se realiza dentro de la computadora es la conversión de voz a texto, que ciertamente es la más difícil de lograr debido a que en la línea telefónica existen ruidos, además en el lugar de prueba también hay una gran variedad de ruidos externos. Con respecto a la tecnología de reconocimiento de voz actualmente se encuentra en desarrollo y tiene un avance considerable [22]. Sin embargo, de manera similar a la operación de conversión de texto a voz, la conversión de voz a texto fue realizada con el programa de aplicación de reconocimiento de voz denominado VIAVOICE, distribuido por la empresa IBM [23]. A pesar de sus grandes virtudes, el programa VIAVOICE tiene la desventaja de ser entrenado solamente por el usuario que lo utiliza, de manera que si otro usuario hace uso de él, posiblemente no sea reconocida su voz o la reconozca erróneamente. Por otro lado, el programa de reconocimiento de voz incluye el reconocimiento de comandos, en otras palabras, acciona los botones que están presentes en el programa de manera automática cuando es reconocido el nombre del botón. Es importante aclarar que la voz utilizada para las pruebas fue la del desarrollador de este trabajo, es decir, que fue entrenado por este usuario.

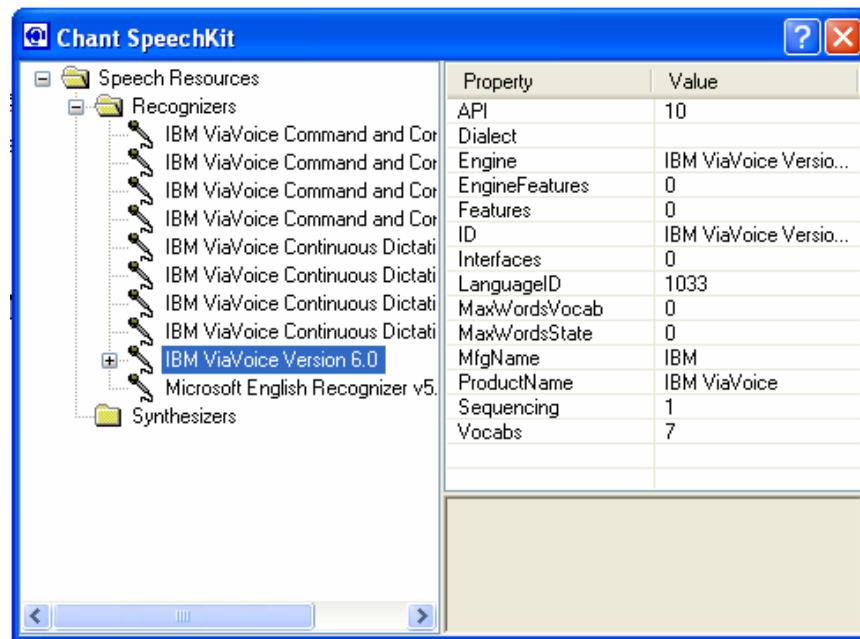


Figura 3.10. Carátula del programa Chant SpeechKit

Es importante mencionar que VIAVOICE no funciona de manera independiente, ya que requiere del uso de otra aplicación llamada Chant SpeechKit, mostrada en la figura

3.10. En este caso, se utilizó Chant SpeechKit 4 versión de evaluación. Esta aplicación reconoce los programas instalados en la computadora específicos para el reconocimiento de voz y a la vez provee un conjunto de componentes o funciones para que el programa de reconocimiento de voz sea utilizado en otros programas. Como se mencionó en el párrafo anterior, en este caso se utilizó el componente para el lenguaje visual C++ Builder. En la figura 3.10, se muestra la carátula del programa Chant SpeechKit y en ella se observan los programas instalados en la computadora para el reconocimiento de voz, que en este caso es el VIAVOICE.

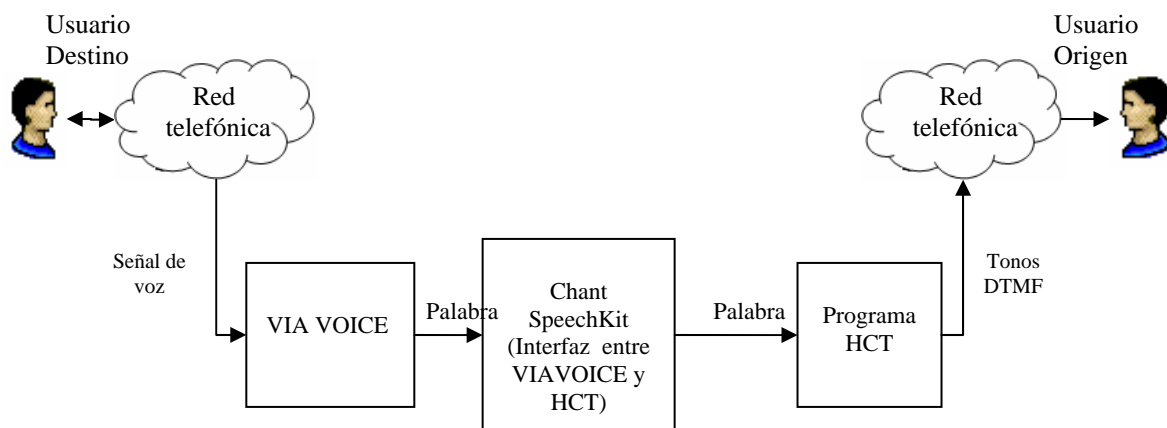


Figura 3.11. Flujo de datos para la conversión de voz a texto

Teniendo las dos aplicaciones de conversión de texto a voz y de voz a texto, es necesario interrelacionarlas para que operen conjuntamente. Debido a que ambas aplicaciones pueden interaccionar con otros programas, en este trabajo se desarrolló un software en lenguaje visual C++ Builder, permitiendo la interrelación del motor de voz, del reconocedor de voz y la comunicación con el Sistema Central, como se muestra en la figura 3.11. Este software fue llamado HCT (Herramienta de Comunicación Telefónica). Debe mencionarse que se decidió utilizar el lenguaje visual C++ Builder debido a que permite el manejo de varios recursos de la computadora, en este caso el puerto serial y el sistema de audio, los cuales fueron utilizados para trabajar en conjunto con el Sistema Central. Por otro lado, también fue elegido este lenguaje debido a que permite la interacción de las aplicaciones desarrollados en este lenguaje con otros programas, por medio de componentes que algunas aplicaciones ofrecen, como los ya mencionados anteriormente.

Con esta característica se logró incorporar el programa motor de voz y el Chant SpeechKit al programa HCT. Otro punto importante es que tanto el VIAVOICE como el agente de voz, solo permiten enlazarse a través del visual C++ Builder.

Dentro de las funciones que realiza el programa HCT se encuentran la configuración del puerto serie de la computadora, especificada a una velocidad de transmisión y recepción de 9600 baudios, para que tenga compatibilidad con la velocidad de transmisión y recepción del Sistema Central. Un detalle especial es que el programa de reconocimiento de voz se inicializa automáticamente al momento de ejecutar el programa HCT y el único paso a realizar es la selección del idioma español y la desactivación de la entrada de audio. La desactivación del micrófono se realiza debido a que el reconocedor de voz esta permanentemente en espera y cualquier señal de entrada provocará que el reconocedor intente identificarla. Por parte del motor de voz, su inicialización no es necesaria dado que es automática; el único paso a realizar es elegir el agente, el cual contiene el personaje animado y el tono de voz que se utilizará en el transcurso del programa.

A manera de resumen, las operaciones de configuración ó inicialización realizadas por el programa HCT se ilustran en el diagrama de flujo de la figura 3.12.

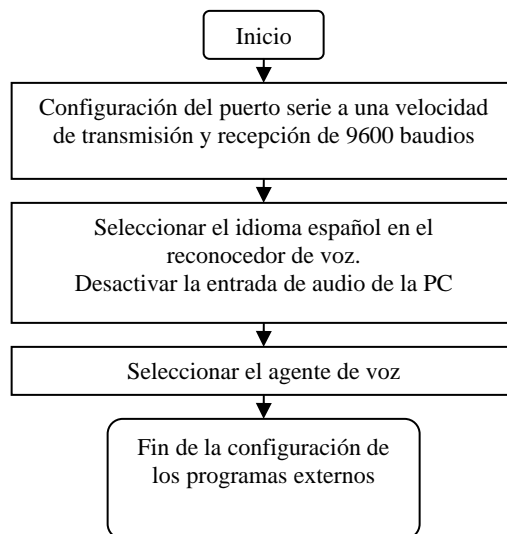


Figura 3.12. Diagrama de flujo para inicializar los programas de conversión

Después de realizar la configuración, tanto del puerto serie como de los programas motor de voz y reconocedor de voz, el programa HCT esta en condiciones para realizar las funciones siguientes. Al establecerse la comunicación con el Sistema Portátil, el programa HCT realizará ciertas acciones en el momento en que el Sistema Central se lo indique. En el primer caso, al recibir el comando “C” debe reproducir el doble tono correspondiente al “0”. Al realizarse esta acción, el programa HCT debe estar disponible para recibir los dígitos enviados por el Sistema Portátil y almacenarlos temporalmente hasta recibir otra notificación de fin del número telefónico indicada por el comando “A”. Al recibirse este comando, el programa HCT realiza el marcaje del número telefónico destino. Finalizando el marcaje del número telefónico destino, nuevamente el programa HCT espera la notificación del Sistema Central para determinar si el usuario destino descolgó el teléfono. De ser así, el Sistema Central le envía el comando “F” y el programa HCT reproduce el mensaje: “Hola, usted tiene una llamada de parte de una persona que no puede hablar, espere”. Terminada la reproducción del mensaje, el programa HCT le indica al Sistema Central que cambie a la línea telefónica auxiliar 1 y a continuación reproduce el doble tono correspondiente al “*”.

Finalizando el proceso de establecimiento de la comunicación equivalente a la etapa 1 de la Tabla 3.1, el programa HCT está disponible para la segunda etapa, la cual consiste en recibir los caracteres que envía el Sistema Portátil para almacenarlos temporalmente hasta recibir el comando “15”. Al recibir dicho comando, el programa HCT le indica al Sistema Central que cambie a la línea telefónica auxiliar 2 y procede a reproducir la voz convertida que guardó temporalmente. Cuando ha finalizado la reproducción, el programa HCT activa la entrada de audio de la computadora y espera a que el usuario destino conteste para almacenar temporalmente las palabras reconocidas. Esto se realiza hasta que el usuario destino indica el fin del mensaje mencionando la palabra “YA”. Esta palabra funciona como un comando e indica al programa que debe enviar el mensaje al Sistema Portátil.

Por otro lado, cuando la comunicación se realiza del teléfono destino al teléfono origen, el programa HCT envía el mensaje por medio de secuencias de dobles tonos, equivalentes a las generadas por el usuario origen. Cuando el programa termina de enviar

los mensajes, espera un tiempo de 6 segundos para que el usuario lea el mensaje y al finalizar este tiempo envía el doble tono correspondiente a la letra “C”, la cual indica borrar el visualizador del Sistema Portátil y también indica que es el turno del usuario origen para escribir un nuevo mensaje.

La última etapa en la conversación entre los usuarios es la finalización de la comunicación. Esto se realiza cuando el usuario destino menciona la palabra “Terminar”. Dicha palabra es interpretada como un comando e indica al programa HCT que reproduzca el tono correspondiente a la letra “B”. Con esto, se da aviso al Sistema Central para que cuelgue la línea telefónica auxiliar 1 y se envía un mensaje de despedida al usuario destino. El mensaje reproducido es: “Ha finalizado la llamada, hasta pronto y que esté bien”. Al finalizar la reproducción del mensaje se cuelga la línea telefónica auxiliar 2. Es importante mencionar que el usuario destino es el encargado de terminar la llamada. A manera de resumen, en la tabla 3.3 se muestran los comandos utilizados para la comunicación entre el Sistema Central y el programa HCT, así como para la comunicación entre los dos usuarios.

Comando	Acción
C	Enviar o reproducir el doble tono del “0” para avisarle al Sistema Portátil que su llamada fue recibida
F	Enviar el mensaje (texto a voz): “Usted tiene una llamada de parte de una persona que no puede hablar”
G	Enviar o reproducir el doble tono de la “B” para avisarle al Sistema Portátil que es su turno de enviar un mensaje
A	Marcar el número telefónico. Enviar los dobles tonos correspondientes al número telefónico destino indicado
a..z y 0..9	Formar el mensaje con las letras recibidas
15	Convertir el texto a voz del mensaje formado
B	Enviar o reproducir el doble tono de la “B” para finalizar la comunicación con el Sistema Portátil

Tabla 3.3. Lista de comandos que utiliza el programa HCT

4. Pruebas y Resultados

En este capítulo se describen las pruebas realizadas en el sistema propuesto para verificar su funcionamiento. Dichas pruebas incluyen tanto al Sistema Portátil como al Sistema Central

4.1. Sistema Portátil

El primer paso fue el diseño y construcción de un sistema capaz de visualizar los mensajes escritos por el usuario origen y los recibidos del usuario destino. Esto se consiguió con el uso de un microcontrolador AT90S2313, un detector de Ring Back, un decodificador de DTMF y el teclado de un aparato telefónico en el que está conectado este sistema.

Antes de integrar todo el sistema, fue necesario probar el circuito detector de doble tono multifrecuencial (DTMF) sin tomar en consideración su conexión con la línea telefónica. Cabe mencionar que se hizo esto para tratar de identificar posibles problemas de funcionamiento, en otras palabras, probando el circuito de forma independiente se determina que su funcionamiento es correcto y después se prueba su acoplamiento con la línea telefónica. En efecto, esta metodología se utilizó para la mayoría de los circuitos diseñados, como se mencionará en párrafos subsecuentes. Siguiendo con la descripción de la etapa de prueba del DTMF, se conectó este circuito integrado junto con los componentes adecuados (resistencias, capacitores y el cristal) en una tablilla de prueba (proto board) y se utilizó el generador de doble tono de un aparato telefónico, comprobando que se obtuvieran los mismos niveles de voltaje especificados en las hojas de datos del dispositivo, así como el código respectivo para cada tono.

Posteriormente, el circuito se conectó a la línea telefónica en las terminales Tip y Ring y se realizaron las mismas observaciones. La señal observada en la línea telefónica correspondiente al doble tono del número 1 se muestra en la figura 4.1, dicha señal tiene una amplitud de 194 mV. Esta gráfica fue obtenida con la ayuda de un osciloscopio TDS

220 de la marca Tektronics. Para verificar las frecuencias del doble tono, puede observarse la figura 4.2 donde se muestra la gráfica en el dominio de frecuencia con los dos tonos bien definidos: El primero es el que corresponde a las frecuencias bajas (renglón) con una frecuencia de 510 Hz; el segundo pertenece a las frecuencias altas (columna) con una frecuencia de 700 Hz. Cabe hacer mención que los valores de las frecuencias son aproximadamente iguales a los valores que se indicaron en la tabla 1.2, además la magnitud de estas dos componentes con respecto a las otras componentes en frecuencia mostradas en la figura 4.2 son mayores a 15dB. Esto indica que aún cuando la señal DTMF no es un doble tono “puro”, la presencia de ruido de pequeña amplitud no deteriora la información respectiva a los tonos. Como resultado de la operación del circuito, en su salida se obtuvo el equivalente en binario correspondiente al número 1, tal como se esperaba.

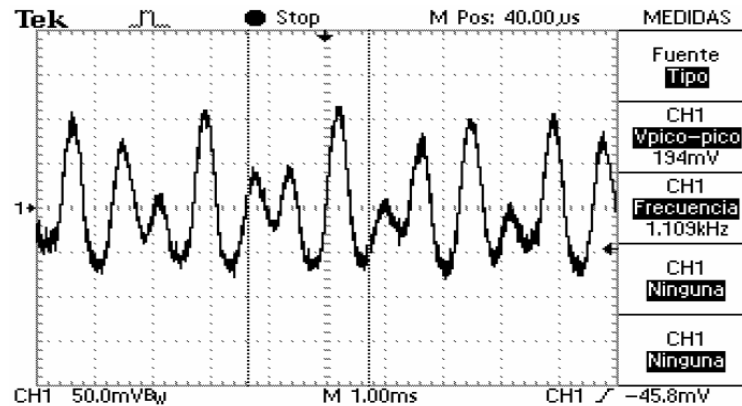


Figura 4.1. Gráfica en el dominio del tiempo del doble tono correspondiente a la tecla marcada con un número “1”

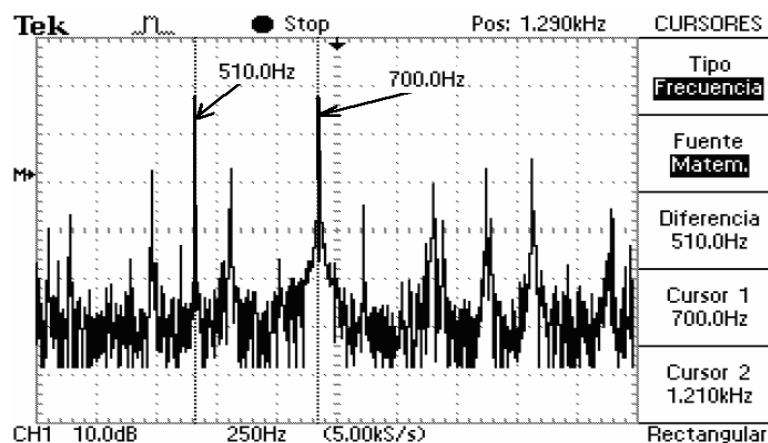


Figura 4.2. Gráfica en el dominio de la frecuencia del doble tono correspondiente a la tecla marcada con el número “1”

En el caso del detector de Ring Back, se conectó este circuito con sus respectivos componentes (capacitor y resistencias) en la salida de audio de una computadora que genera dicho tono, además del tono de invitación a marcar y del tono de ocupado. Posteriormente se conectaron a la línea telefónica y se obtuvieron los siguientes resultados. Con la presencia del tono de invitación a marcar en la línea telefónica, en la salida del circuito se observó un voltaje de 0 V, mostrado en la gráfica superior de la figura 4.3. En ausencia del tono, este circuito mantiene un voltaje de 5 V en su salida. Con respecto al tono de entrada, se observa en la figura 4.3 que presenta una frecuencia aproximada de 440Hz y una amplitud de 200mV aproximadamente.

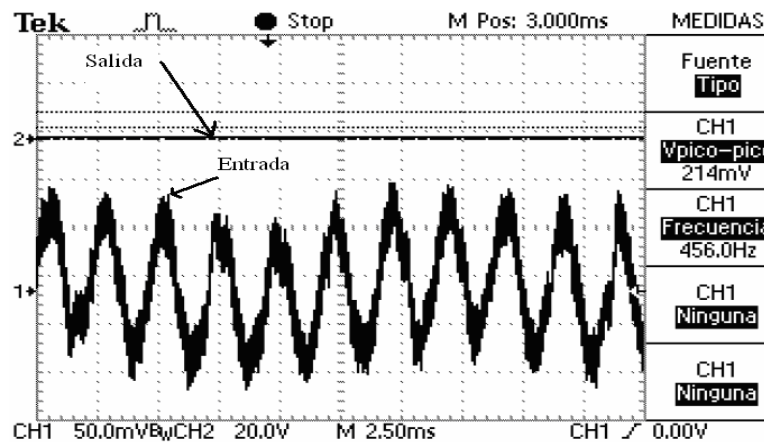


Figura 4.3. Gráfica obtenida en la entrada y salida del circuito detector de tono de invitación a marcar

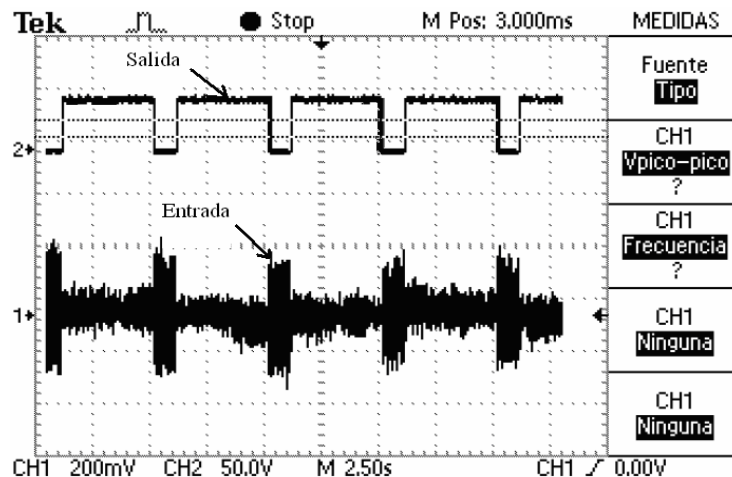


Figura 4.4. Gráfica obtenida en la entrada y salida del circuito detector de Ring Back

En otro caso, cuando en la línea telefónica está presente el tono de Ring Back, en la entrada del circuito se observa el tono con una presencia de aproximadamente 1 segundo y

una ausencia de 3 segundos. Con respecto a la salida del circuito, en presencia del tono se obtiene 0 V y en ausencia 5 V, como se muestra en la figura 4.4.

De igual manera, el circuito se probó para detectar el tono de ocupado, obteniéndose las gráficas de la figura 4.5. En la gráfica inferior de esta figura se observa el tono de ocupado, con una presencia de 250 ms y una ausencia de igualmente 250 ms. Con respecto a su salida, en presencia del tono se obtuvieron 0 V y en ausencia 5 V.

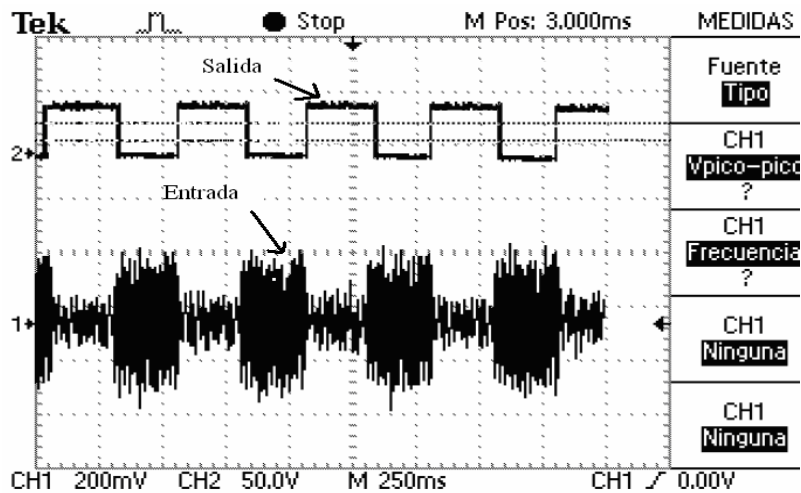


Figura 4.5. Grafica obtenida en la entrada y salida del circuito detector de ocupado

Teniendo el decodificador DTMF y el detector de tonos de ocupado, Ring Back e invitación a marcar, la subsecuente verificación de funcionamiento se concentró en la integración con el microcontrolador, donde invariablemente está incluido el visualizador LCD. A manera de referencia, en la figura 4.6 se muestra una fotografía del circuito construido, donde se ha indicado la posición en el proto board de los bloques de los circuitos correspondientes.

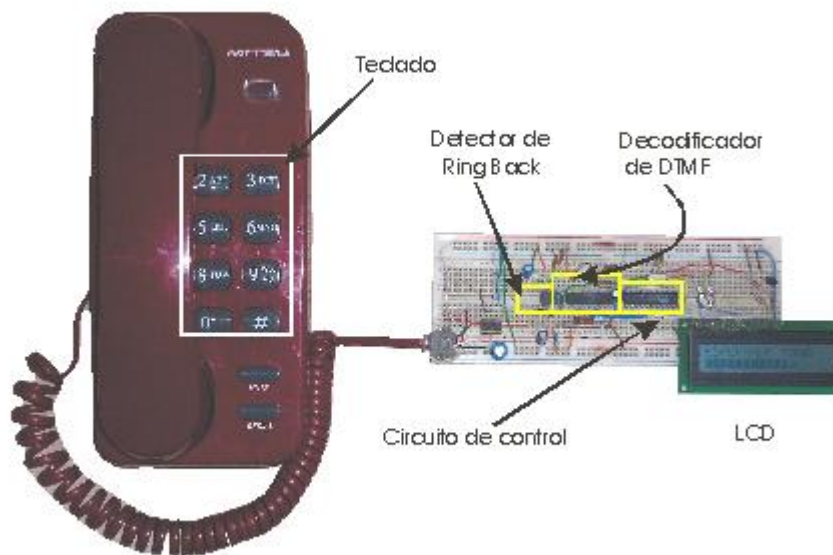


Figura 4.6. Fotografía del Sistema Portátil

De esta forma, en primer lugar se verificó la operación del programa grabado en el microcontrolador con la ayuda del software de grabación y simulación AVR Studio 4. En segundo término, la integración del microcontrolador con el visualizador LCD se verificó enviando caracteres arbitrarios y probando el formato de visualización de diversos mensajes, obteniéndose los resultados esperados.

Otra subrutina probada fue la de marcación y visualización en el LCD de los dobles tonos DTMF, tanto la correspondiente a los números como la de caracteres o letras. En este último caso, se estructuraron diversos mensajes y se obtuvieron los resultados esperados. Cabe hacer mención que dicha verificación se realizó con el Sistema Portátil ya conectado a la línea telefónica. La última subrutina probada y verificada fue el servicio de interrupción del temporizador (Timer). Es decir, introduciendo al circuito respectivo los tonos de ocupado, invitación a marcar y Ring Back, se logró medir y por consiguiente determinar el tono respectivo. Como resultado de esta verificación, el microcontrolador envió al LCD el nombre del tono identificado. Un detalle importante es que el microcontrolador entrega el resultado de dicha medición de tiempo después de un periodo completo de la señal respectiva.

4.2 Sistema Central

Debido a la gran similitud funcional entre el Sistema Portátil y el Sistema Central, la etapa de prueba y verificación sigue el mismo procedimiento, aunque evidentemente el Sistema Central dispone de más funciones y por lo tanto su verificación es más elaborada.

La primera etapa de verificación consistió de los bloques independientes del circuito de voz y del detector de timbrado. Para probar el circuito de voz, se conectaron su entrada y salida de audio a las terminales de salida y entrada de audio de la computadora, mientras que en la entrada de la línea telefónica se conectó un aparato telefónico convencional sin conectarse a la línea telefónica, solo se utilizó para generar los dobles tonos DTMF. Con esta prueba, al generarse tonos arbitrarios en la computadora se lograron escuchar en el auricular y al generar los dobles tonos desde el teléfono se lograron escuchar en la computadora.

Posteriormente, se conectó el circuito de voz a la línea telefónica y el resultado obtenido fue similar a la prueba anterior, con la única diferencia de que la señal reproducida en el altavoz presentaba una cierta cantidad de ruido. Este ruido es producido tanto por la línea telefónica como por el acoplamiento de dicha línea con el circuito construido. Esta observación es muy importante, ya que como consecuencia, al estar presente el ruido en la entrada de audio de la computadora, el programa de reconocimiento de voz no realiza bien su trabajo, es decir, aumenta la cantidad de palabras mal reconocidas, como se explicará posteriormente.

Por otro lado, para probar el circuito de timbrado, se realizó la conexión de la línea telefónica con el Sistema Central y se midió la señal de timbrado respectiva, obteniéndose las gráficas de la figura 4.7. Como puede observarse, considerando la escala del osciloscopio y el uso de puntas de prueba con un factor de atenuación de 10, se obtuvo en la entrada una señal con 120 V de amplitud, con 1 segundo de presencia y 3 segundos de ausencia. Por otro lado, en la salida se obtuvo una señal de 10 V aproximadamente en presencia del tono de timbrado y 0 V en ausencia de dicho tono. Obviamente, esta señal de salida se obtuvo en el circuito MC34012, pero a la entrada del microcontrolador presenta

niveles TTL. Realizando un acercamiento al tono de timbrado, se observa un tono de 25 Hz aproximadamente, lo cual coincide con el intervalo de frecuencia permitido para esta señal.

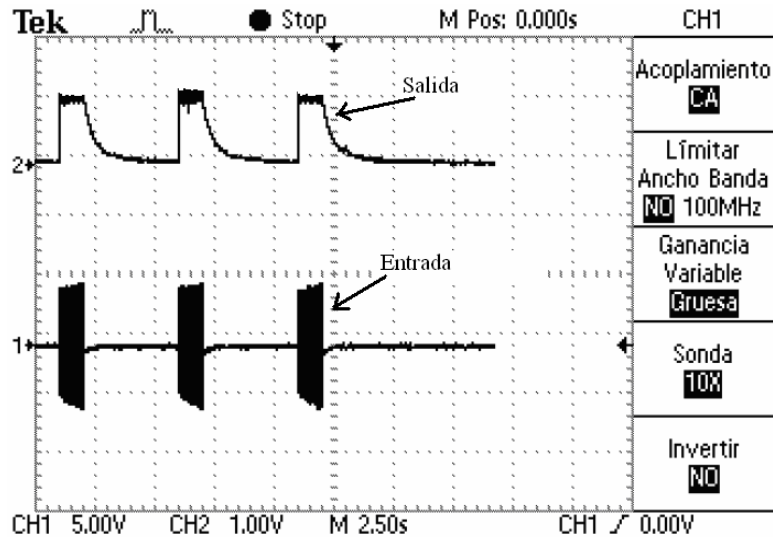


Figura 4.7. Señal obtenida en la entrada y salida del circuito detector de timbrado

La última prueba en lo respectivo al hardware, antes de ser probado todo el sistema en conjunto, fue la etapa del colgado/descolgado y conmutación entre las líneas telefónicas auxiliares. Para este circuito, se probó el correcto funcionamiento de los relevadores al ser activados por el microcontrolador en presencia de los comandos apropiados. Cabe recordar que en esta propuesta solo fue utilizada una línea telefónica, pero el proceso de descolgado y conmutación efectuado por los relevadores fue realizado satisfactoriamente. A manera de referencia ilustrativa, en la figura 4.8 se muestra una fotografía del circuito correspondiente al Sistema Central.



Figura 4.8. Fotografía del Sistema Central

Con respecto al programa grabado en el microcontrolador, las subrutinas comunes entre el Sistema Portátil y el Sistema Central ya fueron explicadas; solo faltan por describirse los resultados de la subrutina que proporciona el servicio de interrupción del puerto serie. Sin embargo, ésta subrutina se encuentra implícita en la prueba de la etapa de descolgado y conmutación, ya que como se mencionó en párrafos anteriores, se requirió de la comunicación entre el microcontrolador y la computadora para el envío de comandos generados por la computadora.

La última etapa de pruebas y resultados corresponde a la operación del programa HCT. En este caso, primero se verificó la función de conversión de texto a voz, escribiendo manualmente en el teclado de la computadora el mensaje “hola, como estas” y “yo estoy muy bien”. Como resultado, se obtuvo la reproducción audible de dicho mensaje a través de las bocinas de la computadora. Por otra parte, la verificación de la función de conversión de voz a texto consistió primero en una etapa de entrenamiento, en la que se utilizó el micrófono de la computadora y el desarrollador de esta propuesta estuvo hablando sucesivamente hasta estructurar frases que fueran reconocidas por el software de aplicación correspondiente. Posteriormente se realizó la misma prueba pero con la línea telefónica conectada al circuito de voz y por consiguiente a la computadora. En este caso los

resultados no fueron muy satisfactorios y se resumen en la tabla 4.1. A manera explicativa, una frase compuesta de cuatro palabras, repetida diez veces, fue reconocida inequívocamente en seis ocasiones, es decir, en un 60 %. En una segunda prueba, al considerar diez frases diferentes, cada una formada por tres, cuatro o cinco palabras, solo siete frases fueron reconocidas inequívocamente, ya que en el 30 % restante, el reconocimiento fue parcial, es decir, solo algunas palabras fueron correctamente reconocidas mientras que otras estuvieron erróneas. Finalmente, se probó una frase relativamente extensa, compuesta de 22 palabras, y se repitió diez veces, obteniéndose un reconocimiento correcto de toda la frase solo en el 40 % de los intentos. El principal problema detectado para la obtención de estos resultados fue el ruido agregado por la línea telefónica y el acoplamiento con los circuitos construidos. Por otro lado, a manera de referencia, en la figura 4.9 se muestra la carátula del programa desarrollado donde se ilustran diferentes campos de operación como son el campo donde se guardan temporalmente las frases del usuario origen, el campo donde se almacena el mensaje enviado por el usuario destino y por último el campo del historial de la conversación.

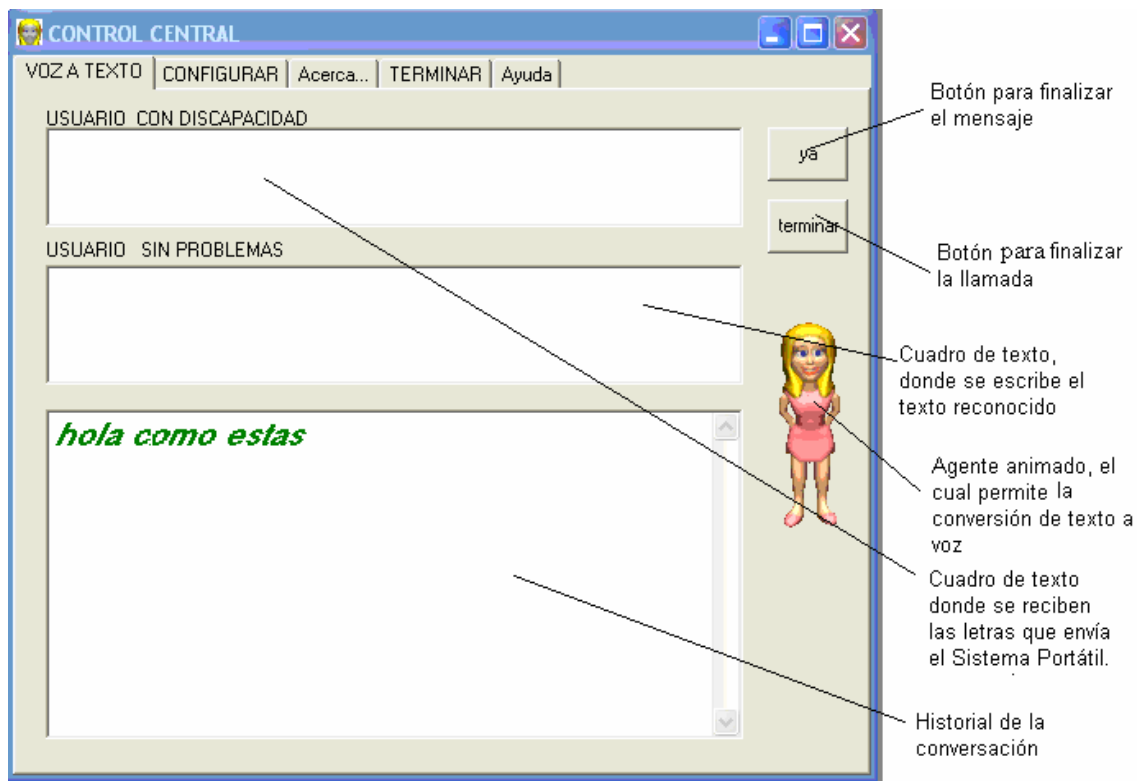


Figura 4.9. Programa HCT ejecutado en la computadora

Frase Hablada	Resultado	Porcentaje reconocido correctamente
Hola, como estas, amigo	De 10 repeticiones, tan solo en 6 ocasiones fue correctamente reconocido	60%
¿Cuándo vienes a mi casa? ¿Como se llama tu mamá? ¿De donde eres? ¿Que te gustaría hacer hoy? Cuando terminas tus estudios? Estoy en mi casa trabajando Necesito ayuda para salir hoy Dame tu numero telefónico No pienso esperar todo el día No necesito que vengas	De las 10 frases, 7 fueron reconocidas completamente, mientras que en las demás, algunas palabras fueron erróneamente reconocidas	70%
Si piensas que voy a ir a tu cumpleaños, estas muy equivocado, recuerda que tengo que ir a competir en las olimpiadas	De las 10 repeticiones de esta frase, tan solo 6 veces se reconoció completamente, mientras que en las demás repeticiones algunas palabras fueron erróneamente reconocidas	60%

Tabla 4.1. Resultados de la prueba realizada al programa de reconocimiento de voz que se efectuó con todo el sistema propuesto en operación

La prueba general realizada al sistema propuesto se explica a continuación. Debido a que en el Sistema Central no se dispuso de dos líneas telefónicas auxiliares, la prueba fue realizada con una sola línea, intercambiándola en las dos entradas del Sistema Central.

El primer paso que se realizó fue probar el Sistema Portátil de manera independiente, conectándolo a la línea telefónica con la que se contaba, haciendo la función del teléfono origen. Las operaciones necesarias efectuadas por el Sistema Central se realizaron manualmente, es decir, después de 3 tonos de timbrado se oprimió la tecla del número "0", simulando la respuesta del Sistema Central. Con esto, en el LCD del Sistema Portátil se visualizó el mensaje "Marque el número destino" y debe realizarse la marcación de dicho número, finalizando con un "*". Una vez hecho esto, el Sistema Portátil se mantiene en espera de la contestación del Sistema Central.

Por otro lado, con respecto a la prueba del Sistema Central, se conectó la línea telefónica disponible a la entrada marcada como línea telefónica auxiliar 1. Posteriormente, con la ayuda de un teléfono inalámbrico se realizó la marcación a la línea disponible, es decir, al Sistema Central. Al presentarse los tres tonos de timbrado, el microcontrolador realizó el descolgado automático y con la ayuda de la computadora se generó el doble tono del “0”, indicando que debe realizarse la marcación del número telefónico destino. Al ser recibido este número por el Sistema Central, se almacena temporalmente en la computadora para efectuarse como siguiente paso la marcación del número telefónico destino a través de la línea telefónica auxiliar 2.

Para comprobar la última etapa mencionada, se cambió manualmente la línea telefónica disponible a la línea telefónica auxiliar 2, realizándose la marcación del número destino. Debido a que en este último teléfono se realizó la contestación de la llamada, la computadora procedió a reproducir el mensaje “Usted tiene una llamada de parte de una persona que no puede hablar, espere”. Con esto se termina la etapa de prueba y verificación del establecimiento de la llamada.

Cabe hacer notar que, si bien es cierto que el proceso descrito en párrafos anteriores resulta un tanto confuso y demasiado elaborado, fue el único recurso del que se dispuso para realizar dicha prueba, debido a la carencia de dos líneas telefónicas disponibles en la misma oficina o habitación. En otras palabras para realizar la prueba completa hubiera sido necesario el empleo de 4 líneas telefónicas: una para el teléfono origen, otra para el teléfono destino y dos para las líneas auxiliares.

La siguiente prueba, correspondiente a la conversación propiamente dicha, no fue tan elaborada como el establecimiento de la llamada. En este caso, al recibirse el comando de notificación de llamada aceptada en el Sistema Portátil, se visualizó en el LCD el mensaje “Escriba su mensaje”. Para fines de prueba, se introdujo el mensaje “Hola”. Como respuesta, desde el teléfono destino se contestó el mensaje hablado “Como estas?”, obteniéndose el reconocimiento correcto por parte del software de aplicación ejecutado en la computadora.

La última etapa de prueba fue la terminación de la llamada realizada por el teléfono destino al pronunciar la palabra “Terminar” y con esto se finalizó la comunicación entre los dos usuarios.

5. Conclusiones

Con la elaboración de este trabajo de tesis, se han obtenido unas conclusiones generales, destacando los siguientes puntos.

- Se entendió la señalización de la línea telefónica a nivel de abonado y se implementó los circuitos que son capaces de detectar el estado de la línea telefónica, además estos circuitos son conectados directamente a un microcontrolador.
- Al realizarse un estudio de los programas que son capaces de realizar el reconocimiento de voz, se encontró que el software VIAVOICE, puede interactuar con otros programas a través del programa ChantSpeechki y en el otro caso, también se encontró el programa MSAagent que puede convertir cualquier mensaje de texto a voz.
- Se diseñó y se implementó el Sistema Portátil, cumpliendo con los requerimientos propuestos al principio, como son: la conexión al teléfono origen, enviar y recibir los mensajes de conversación, el uso del teclado del aparato telefónico.
- Se diseñó y se implementó el Sistema Central u operadora automática, el cual cumplió con los requisitos propuestos al principio como son: el uso de dos líneas telefónicas, una computadora personal donde se ejecutan los programas mencionados anteriormente y un circuito que controla y verifica el estado de las líneas telefónicas.
- Debido que los programas de reconocimiento de voz y motor de voz son diferentes se implementó un software el cual fue llamado HCT, el cual tiene la función de interactuar con los programas mencionados anteriormente, además el programa HCT interactúa directamente con el circuito externo, es decir el que controla y verifica el estado de las dos líneas telefónicas.

Analizando algunos sistemas que se utilizan para el mismo propósito que el trabajo de tesis realizado, se concluye lo siguiente.

- Aunque algunos sistemas satisfacen la necesidad de comunicación, requieren de operadoras humanas que demandan una disponibilidad permanente de tiempo. Esto logró superarse con el uso del Sistema Central, que al funcionar automáticamente, en principio no requiere de empleo de personal dedicado.
- Si bien es cierto que el sistema propuesto requiere de un control centralizado, solo el usuario origen requiere de un aparato adicional a su teléfono, no así el usuario destino. Con esto también se supera lo realizado por sistemas comerciales que persiguen este mismo fin.

A pesar de las ventajas y virtudes del sistema propuesto existen indudablemente algunas desventajas.

- La principal desventaja es que el Sistema Central necesita de dos líneas telefónicas. Esta desventaja puede superarse al hacer uso de algunas de los servicios digitales que ofrecen las compañías telefónicas, como es de “tres a la vez”. Para esto se requeriría de un análisis detallado de la señalización telefónica que hace posible esta aplicación, así como su integración e implementación en el sistema propuesto.
- Otra desventaja importante, es que la comunicación solo puede ser iniciada por el usuario hipoacúsico y se realiza de manera half duplex. Este último parece difícil de superar en vista de la estructura del sistema, es decir, del control centralizado.
- El punto crítico más importante radica en el programa reconocedor de voz, por lo que un nuevo usuario está obligado a entrenar al programa, evitando así el erróneo reconocimiento de frases pronunciadas por el usuario destino. Esto se traduce también a la construcción de una base de datos con los tonos de voz de los usuarios registrados.

Finalmente, dentro de las perspectivas a corto plazo se encuentran las siguientes:

- Realizar el diseño y construcción del circuito impreso que permita la compactación del circuito, haciéndolo mas confiable.
- Agregar dispositivos de memoria y codificación en el Sistema Portátil para que sean reconocidos en el Sistema Central determinados mensajes comunes ó frecuentes. Con esto se reduciría el tiempo de conversación telefónica y el proceso sería menos tedioso.
- Agregar o probar algún módulo de codificación o modulación para los caracteres introducidos por el usuario origen, reduciendo el tiempo necesario para el intercambio de información entre el usuario origen y el Sistema Central.

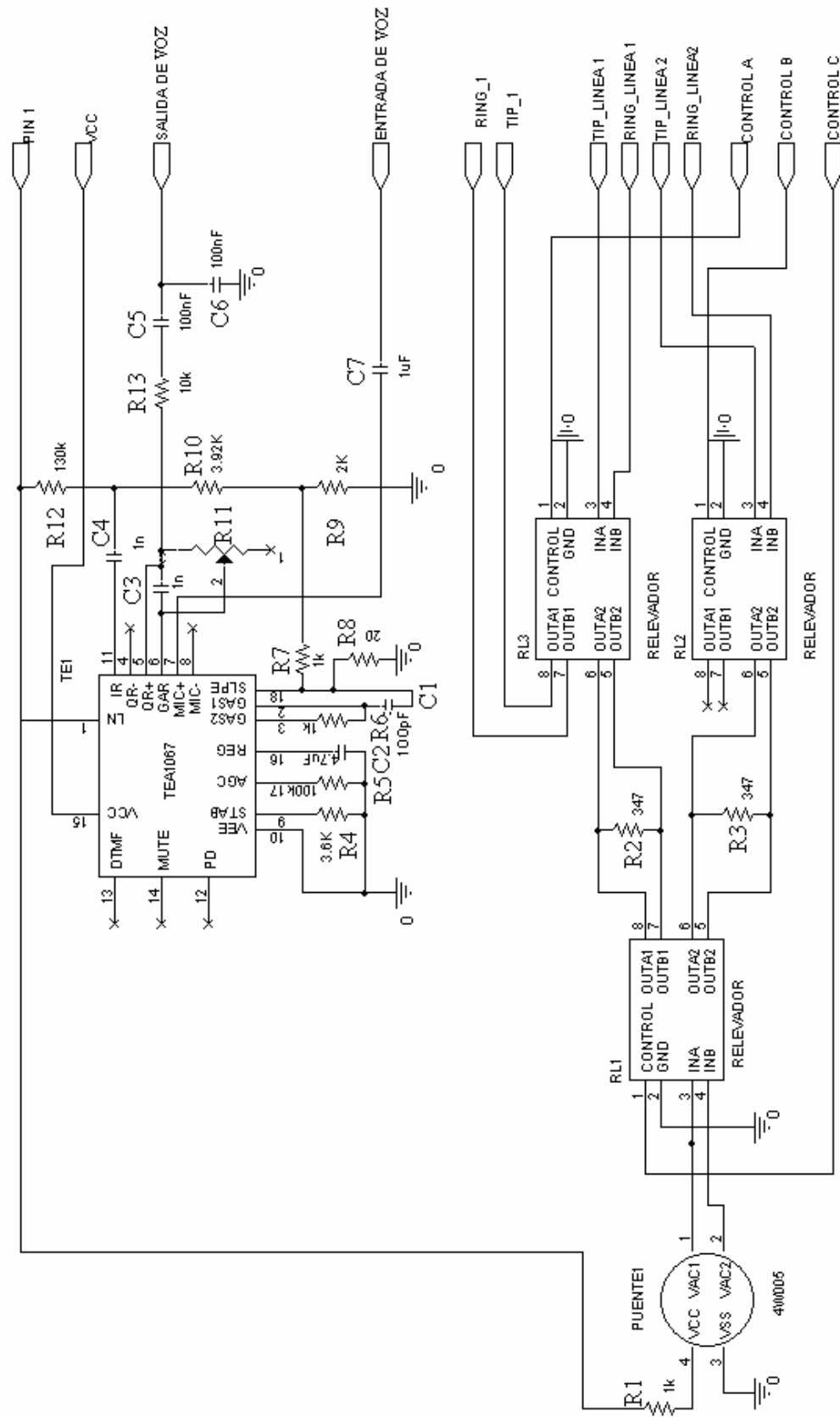
6. REFERENCIAS

- [1] EHIMA, (Asociación Europea de fabricantes de aparatos de audición). “Untreated hearing loss: costly for the individual - expensive for society”. 1999.
- [2] Maldonado Basilio, Ramón G.; Espinosa Justo, Enrique; Ramírez Leyva, Fermín Hugo. 2003. “Sistema de acondicionamiento de señales telefónicas para la comunicación de personas hipoacúsicos”. Memoria del XVII Congreso de Instrumentación SOMI 2003.
- [3] Maldonado, B. Ramón G. 1998. “Identificador de Llamadas Telefónicas”. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. México
- [4] <http://icarito.latercera.cl/especiales/medios/telefono.htm>
- [5] Fike, John L; and George, E. Friend. 1984. “Understanding Telephone Electronics”. Howard W. Sams & Co. United States, 1p.
- [6] Kuhlman, Federico; Antonio Alonso C. 1997. “Información y telecomunicaciones”. Publicado por el CFE. México.
- [7] Smale, P. H. 1993. “Introducción a los Sistemas de Telecomunicaciones”. Editorial Trillas. México.
- [8] Bellefleur, P.A. (1976).”TTY communication: its history and future”. The Volta Review.
- [9] <http://www.simplycheap.com/amerq90.html>
- [10] <http://www.newworldtelnet.com/Infoview-video-phone.htm>
- [11] <http://rionegro.com.ar/arch200311/03/v03g95.php>
- [12] Lescas, Vasquez David Eliécer. 2002. “Sistema Telefónico Multifuncional Aplicado a la Comunicación de Personas Hipoacúsicas”. UTM. México
- [13] MITEL Corporation. (1999),”Hoja de especificaciones de MT8870”.
- [14] Philips Electronics N.V. 1998. “Hoja de especificaciones de TEA1067”
- [15] Nacional Semiconductor Corporation. 1995. “Hoja de especificaciones de LM567”
- [16] Motorola Inc. 1996. “Hoja de especificaciones de MC34012”
- [17] Fairchild Semiconductor. 2003, “Hoja de especificaciones de 4N25”
- [18] Purdy Electronics Corporation. 1999. “Hoja de especificaciones del LCD AND791”
- [19] Atmel Corporation, 2002. ”Hoja de especificaciones del microcontrolador AT90S2313”
- [20] <http://www.microsoft.com/msagent/downloads/user.asp#intro>

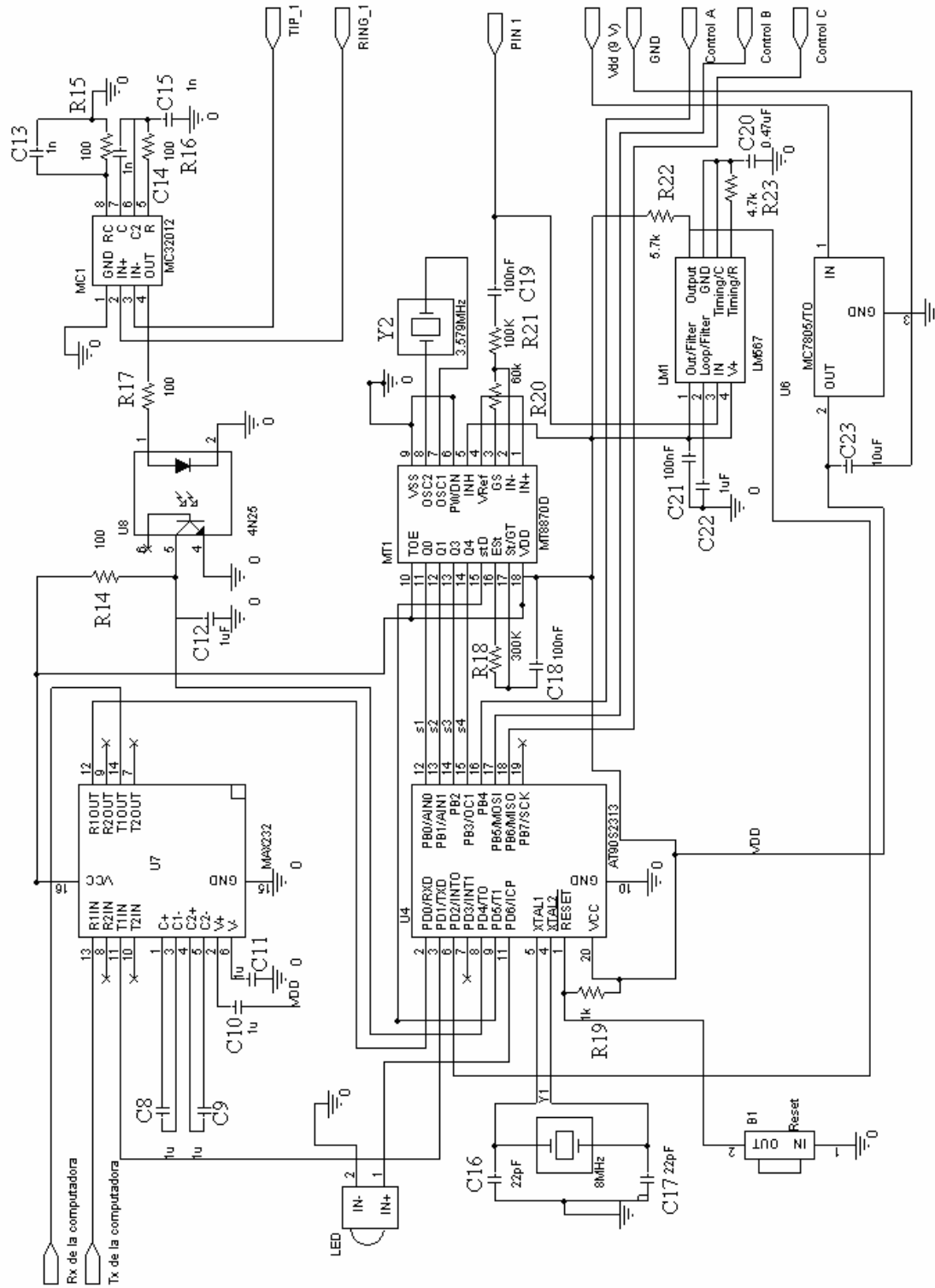
- [21] <http://elvex.ugr.es/decsai/builder/intro/3.html>
- [22] <http://www-5.ibm.com/es/press/notas/2000/marzo/voicexml.html>
- [23] <http://www.ibm.com/>

Apéndice A

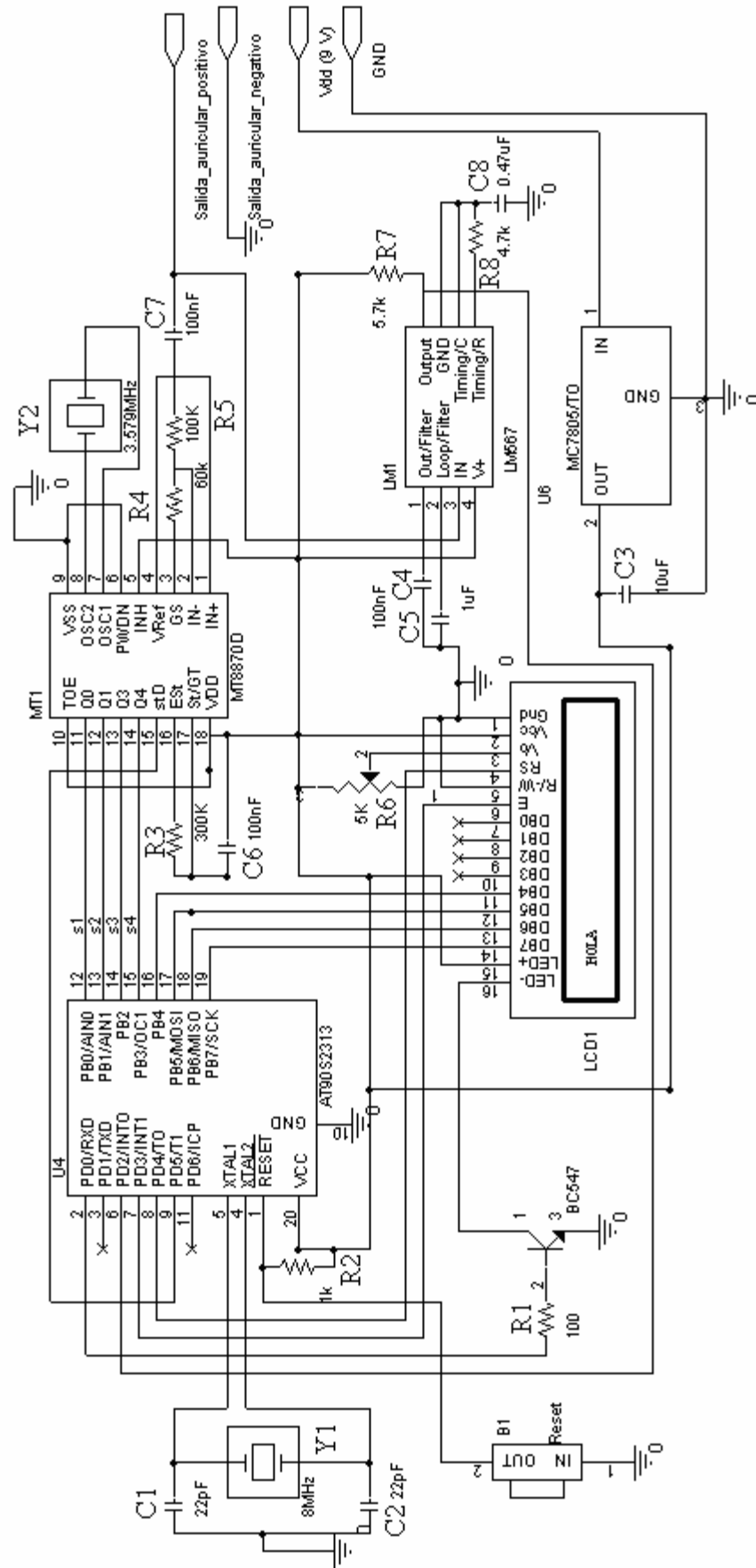
Sistema central (parte 1)



Sistema central (parte 2)



Sistema portátil



Componentes para el Sistema Central

Componente	Valor	Componente	Valor
C1	100pF	Relevador 1	Doble interruptor
C2	4.7uF	Relevador 2	Doble interruptor
C3	1nF	Relevador 3	Doble interruptor
C4	1nF	TE1	TEA1067
C6	100nF	Puente1	4W005
C7	1uF	U7	RS-232
C8	1uF	U4	AT90S2313
C9	1uF	MT1	M78870D
C10	1uF	MC1	MC32012
C11	1uF	LM1	LM567
C12	1uF	U6	MC7805
C13	1nF	U8	4N25
C14	1uF	LED	“”
C15	4.7uF	B1	PUSH BOTTOM
C16	22pF	Y1	8Mhz
C17	22pF	Y2	3.579Mhz
C18	100nF		
C19	100nF		
C20	0.47uF		
C21	100uF		
C22	1uF		
C23	10uF		

Resistencias

R1	1k	R13	10k
R2	470	R14	100
R3	470	R15	100
R4	3.6k	R16	100
R5	100k	R17	100
R6	1k	R18	100K
R7	1k	R19	1K
R8	20	R20	60K
R9	2k	R21	100K
R10	3.9k	R22	5.7K
R11	20k (variable)	R23	4.7K
R12	130k		

Componentes para el Sistema Portátil

Componente	Valor	Componente	Valor
C1	22pF	Y1	8Mhz
C2	22pF	Y2	3.579Mhz
C3	10uF	MT1	MT8870D
C4	100nF	U4	AT90S2313
C5	1uF	LCD1	AND670
C6	100nF	U6	MC7805
C7	100Nf	LM1	LM567
C8	0.47uF	B1	PUSH BOTTON

Resistencias

R1	100	R5	100K
R2	1K	R6	5K (Variable)
R3	300K	R7	5.7k
R4	60K	R8	4.7k