



PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.

Para ver una copia de dicha licencia, visite
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



Diseño e Implementación de un Equipo Electrónico para la Tarifación de Llamadas Telefónicas en Locutorios de Voz IP

Tesis para optar el título de: Ingeniero Electrónico

Presentado por: Christian Ricardo Palma Palacios

Lima – Perú

2009

RESUMEN

El presente proyecto tiene por título: “Diseño e Implementación de un Equipo Electrónico para la Tarifación de Llamadas Telefónicas en Locutorios de Voz IP”, donde un locutorio se entiende como un conjunto de líneas telefónicas, Voz IP hace referencia a la tecnología que transmite la voz sobre una red IP y la tarifación es el proceso por el cual asignamos un valor monetario (costo) a una llamada telefónica.

Debemos comprender que una llamada telefónica se genera desde un teléfono y hace uso de una línea telefónica por lo tanto debemos tarifar cada línea del locutorio. A este equipo electrónico de tarifación lo llamaremos “tarifador”.

La elección de diseñar un tarifador resultó específicamente de la necesidad técnica y del ímpetu de desarrollar la tecnología nacional. Es conocido que la ingeniería de desarrollo en el Perú a nivel de industria está en pañales y que existe cierta desconfianza con el producto nacional, pero el ímpetu de demostrar lo contrario pudo más.

Es conocido que la telefonía nacional está sufriendo cambios, como en el resto del mundo, y la nueva tecnología de Voz sobre IP (o VoIP) se hará más común. Siendo más específico la telefonía pública ya es influenciada por la VoIP y con esto creció la necesidad de un método de tarifación. En otros países de Latinoamérica estos cambios se dieron mucho antes desarrollándose soluciones que requieren medianas inversiones. Pero en el Perú, como un primer paso, es más accesible una telefonía pública de pocas líneas que se utilice como complemento de una pequeña empresa, sea: bazares, farmacias, terminales terrestres, etc., para luego implementar locales exclusivos a la telefonía pública, los llamados locutorios públicos.

Así nació este proyecto a mediados del 2003 buscando una solución económica y de calidad, diferenciándonos de las soluciones extranjeras en que diseñamos un tarifador autónomo, es decir, que él mismo es autosuficiente para lograr la tarifación sin depender de otro equipo.

Este proyecto logró un prototipo funcional cumpliendo todos los objetivos planteados, el tarifador diseñado es capaz de administrar una sola línea telefónica con la pretensión que en el futuro pueda administrar un locutorio de hasta 12 líneas.

Título:

Diseño e Implementación de un Equipo Electrónico para la Tarifación de Llamadas Telefónicas en Locutorios de Voz IP

Alumno:

Christian Ricardo Palma Palacios

Dedicatoria...

A los alumnos de la especialidad de ingeniería electrónica.



Agradecimientos...

A mis padres por ser mis primeros educadores y por permitirme el acceso a una buena educación.

A mi universidad que me permitió pertenecer a ella.

A mis profesores de toda la vida, en especial a mis instructores de la especialidad de ingeniería.

A mis compañeros de trabajo y colaboradores, sin ellos no se hubiera podido cumplir los objetivos.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Entorno	1
1.2. Visión Actual	3
2. ANÁLISIS DE LA METODOLOGÍA	4
2.1. Conceptos Básicos	4
2.2. La telefonía fija en el Perú	5
2.3. Red VoIP	6
2.4. Telefonía VoIP y telefonía convencional	8
2.5. ¿Cómo resulta ser más económica una llamada por la red VoIP?	10
2.6. Estándares para VoIP	11
2.7. Estándar H.323	11
2.7.1. Una llamada telefónica en H.323	13
2.8. SIP (Session Initiation Protocol)	16
2.8.1. Una llamada telefónica en SIP	17
2.8.2. Funcionamiento de los servidores SIP	19
2.9. Lado del abonado	20
2.10. Señalización Analógica de Abonado	21
2.10.1. Señales de estado	21
2.10.2. Señales de dirección	22
2.10.3. Señales de información	22
2.10.4. Señales de tarifación	22
2.10.4.1. Tren de Pulsos de 12kHz o 16kHz	22
2.10.4.2. Inversión de Polaridad	23
2.11. Señalización en una llamada telefónica por la PSTN	24
2.11.1. Envío de la señal de tarifación	24
2.11.2. Retiro de la señal de tarifación	24
2.12. Uso del tarifador	25
2.13. Objetivos del proyecto	26
3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL EQUIPO	27
3.1. GENERALIDADES	27
3.2. MÓDULO OPERADOR	29
3.2.1. Etapa de Reconocimiento de la Señalización Telefónica	31
3.2.1.1. Diseño de los comparadores de voltaje	31
3.2.1.1.1. Comparador de estado Colgado – Descolgado	32
3.2.1.1.2. Comparador de Inversión de Polaridad	35
3.2.1.2. Comportamiento AC	38
3.2.1.3. Características del diseño de los comparadores	40
3.2.1.4. Diseño del detector DTMF	40
3.2.1.4.1. Descripción funcional del CM8870	41
3.2.1.4.2. Conexión del CM8870	41
3.2.1.4.3. Uso del CM8870	42
3.2.1.4.4. Características del diseño del detector DTMF	42
3.2.1.5. Diseño del detector del tren de pulsos de 16kHz	42

3.2.1.5.1. Características del diseño del detector del tren de pulsos de 16kHz	44
3.2.2. Etapa de Actuación sobre la Línea Telefónica	45
3.2.2.1. Elección del Relé	45
3.2.2.2. Diseño del circuito actuador	46
3.2.2.3. Características del diseño del circuito actuador	47
3.2.3. Etapa de Control	49
3.2.3.1. Elección del PICmicro	50
3.2.3.2. Configuración del CPU del PIC16F877	51
3.2.3.3. Configuración de los Periféricos del PIC16F877	51
3.2.3.4. Diseño de las Interfaces humanas	52
3.2.3.4.1. Interfaz para el teclado	52
3.2.3.4.2. Interfaz para la pantalla de cristal líquido a caracteres ...	53
3.2.3.5. Distribución de la memoria del PIC16F877	56
3.2.3.6. Diagrama de Flujo del Programa Principal	58
3.2.4. Etapa de Administración de Llamadas y tablas tarifarias	65
3.2.4.1. Almacenamiento de llamadas	65
3.2.4.2. Tablas Tarifarias	65
3.2.4.3. Procedimiento de tarifación	67
3.3. MÓDULO REMOTO	68
3.4. MÓDULO DE TRANSMISIÓN	69
3.5. MÓDULO INTERFAZ	71
3.5.1. Uso del HyperTerminal	73
3.6. MÓDULO DE ALIMENTACIÓN	75
3.6.1. Diseño de la fuente usando reguladores de voltaje	76
3.6.2. Características del diseño de la fuente de alimentación	78
3.7. DIAGRAMAS DEL DISEÑO	79
4. PRUEBAS Y RESULTADOS EXPERIMENTALES	81
4.1. Simulaciones	81
4.1.1. Simulación de los comparadores de voltaje	81
4.1.2. Simulación del detector del tren de pulsos de 16kHz	82
4.1.3. Simulación del circuito actuador	83
4.2. Pruebas Experimentales	84
4.3. Resultados	87
4.4. Metrado	87
4.4.1. Inversión inicial	87
4.4.2. Recuperación de la inversión	88
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	91
5.1. Conclusiones	91
5.2. Recomendaciones	92
6. BIBLIOGRAFÍA	95
7. ANEXOS	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1.1 Medio Ambiente Externo del Proyecto Tarifador	2
Fig.2.1 Ejemplo de una Red Pública Telefónica Conmutada	5
Fig.2.2 Modelos de referencia para redes informáticas	6
Fig.2.3 Ejemplo de Red Informática	7
Fig.2.4 Ejemplo de una Red VoIP	9
Fig.2.5 Comparando una llamada por la PSTN y por la red VoIP	9
Fig.2.6 Red de telefonía usando H.323	12
Fig.2.7 Establecimiento de una llamada H.323	13
Fig.2.8 Comunicación en H.323	14
Fig.2.9 Liberación de una llamada H.323	15
Fig.2.10 Arquitectura SIP	16
Fig.2.11 Llamada telefónica en SIP	18
Fig.2.12 Funcionamiento del Servidor Proxy en la red SIP	19
Fig.2.13 Funcionamiento del Servidor de Redirección	20
Fig.2.14 Resumen de la señalización en una llamada telefónica por la PSTN	23
Fig.2.15 Conexión del tarifador a una red de telefonía	25
Fig.3.1 Partes del tarifador	28
Fig.3.2 Diagrama de Bloques del Módulo Operador	29
Fig.3.3 Esquemático de un Amplificador Operacional del LM358	33
Fig.3.4 Divisor resistivo con el voltaje de línea telefónica como entrada	33
Fig.3.5 Primer diseño del comparador de Colgado – Descolgado	34
Fig.3.6 Primer diseño del comparado de Inversión de Polaridad	35
Fig.3.7 Comparadores de Colgado – Descolgado (X1) y de Inversión de Polaridad (X2) conectados	36
Fig.3.8 Diseño de los comparadores de voltaje con referencia menor a cero	36
Fig.3.9 Filtro Pasa Bajos Pasivo	38
Fig.3.10 Esquemático del Circuito Comparador de Voltaje, hecho en SpiceNet ICAP/4 8.3.7	39
Fig.3.11 Esquemático del circuito detector DTMF	41
Fig.3.12 Señal sensada de 16kHz usada como señal de tarifación	43
Fig.3.13 Circuito Detector de la señal de tarifación de 16kHz	43
Fig.3.14 Esquemático para simulación del devanado del relé	47
Fig.3.15 Esquemático del circuito actuador	48
Fig.3.16 Esquemático del teclado matricial utilizado en el tarifador	52
Fig.3.17 Interfaz para conectar el teclado matricial al PIC16F877	52
Fig.3.18 Matriz de 5x11 puntos que forma un caracter alfanumérico	53
Fig.3.19 Interfaz para conectar el LCD del módulo operador al PIC16F877	55
Fig.3.20 Esquemático del módulo remoto	68
Fig.3.21 Conexión del módulo operador y del módulo remoto	69
Fig.3.22 Esquemático del módulo interfaz	73
Fig.3.23 Trama Xmodem	74
Fig.3.24 Comunicación con el protocolo Xmodem	74
Fig.3.25 Fuente básica usando un regulador de voltaje negativo	76
Fig.3.26 Esquemático de la Fuente del Tarifador	77
Fig.3.27 Diagrama de Bloques del Tarifador	79
Fig.3.28 Diagrama Esquemático del Módulo Operador y de Alimentación	80
Fig.4.1 Voltaje de línea telefónica VL aplicado al circuito comparador de voltaje	81

Fig.4.2 Voltaje Vin1 del nodo 1 en el circuito comparador de voltaje	81
Fig.4.3 Diagrama de Bode de la señal VLf para R1=1K	82
Fig.4.4 Señal VL para verificación del comportamiento del filtro de 16kHz	82
Fig.4.5 Señal de salida Vout del filtro de 16kHz para una entrada VL	83
Fig.4.6 Señal de entrada Vi para el circuito del devanado del relé	83
Fig.4.7 Señal de voltaje colector - emisor del transistor Q1	84
Fig.5.1 Circuito Detector de Ausencia de Línea	92
Fig.5.2 Arreglo de pulsadores para interfaz humana de entrada	93



ÍNDICE DE TABLAS

Cdr.3.1 Comparación de varios Circuitos Integrados con OPAM's	32
Cdr.3.2 Generación del voltaje V1 según varios factores de reducción	34
Cdr.3.3 Rangos del voltaje de la línea telefónica para los estados Colgado y Descolgado	34
Cdr.3.4 Cuadro de comportamiento de los comparadores de voltaje	37
Cdr.3.5 Cuadro comparativo para la elección de transistores	38
Cdr.3.6 Comparación de CI decodificadores DTMF	40
Cdr.3.7 Comparación de relés para el diseño	45
Cdr.3.8 Datos del contacto del relé HJR-21FF	46
Cdr.3.9 Datos del devanado del relé HJR-21FF	46
Cdr.3.10 Comparativo de microcontroladores PIC16 (extraído de Microchip.com)	49
Cdr.3.11 Distribución de pines del HD44780	54
Cdr.3.12. Juego de Instrucciones para el HD44780	56
Cdr.3.13. Distribución de la FLASH EEPROM del PIC16F877	57
Cdr.3.14. Distribución de la EEPROM de datos del PIC16F877	57
Cdr.3.15. Las tablas tarifarias	66
Cdr.3.16 Distribución de pines de los conectores DB9 del cable de transmisión ..	70
Cdr.3.17 Comparación de circuitos integrados transceptores RS232	72
Cdr.4.1 Comparación de los registros de llamadas – Parte 1/2	85
Cdr.4.2 Comparación de los registros de llamadas – Parte 2/2	86
Cdr.4.3 Costo Componentes Tarifador - Parte 1/2	89
Cdr.4.4 Costo de Inventarios del Tarifador - Parte 2/2	90
Cdr.4.5 Flujo de Efectivo del Proyecto	90
Cdr.5.1. Comparación de tarifadores de venta en Lima a diciembre del 2005	91

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Entorno

Como el objetivo es diseñar e implementar un producto podremos ver el proyecto desde un punto de vista administrativo, donde el proyecto es un sistema de entradas y salidas. Las entradas son los materiales, el dinero, el trabajo y la información utilizada, y la salida es el producto “tarifador”.

A su vez, todo sistema es afectado por su medio ambiente (ver Fig.1.1), tanto el medio ambiente externo como interno. El medio ambiente externo se divide en:

- Medio Ambiente General, con las macro variables:
 - Global, fuerzas que afectan al país como la globalización han contribuido a que la telefonía se modernice y el Internet sea más accesible. Y agregando que China y otros países asiáticos permitieron la reducción de costos de equipos VoIP se logró que el concepto de locutorio se renueve y se implemente exitosamente en el Perú como lo fue en Argentina y Colombia.
 - Tecnología, la implementación en el Perú de la tecnologías VoIP por el año 1998 no vino sola, era necesario implementar la Telefonía IP (interconexión entre VoIP y PSTN) para cursar llamadas originadas en el extranjero que terminaban en el Perú. Luego de unos años se difundió la tecnología ADSL que masificó el Internet a un reducido costo. Y añadiendo que la VoIP evolucionó con el protocolo SIP permitiendo plataformas prepago con software libre, se formó un agradable hogar para el resurgimiento del locutorio. Debemos mencionar que en Lima la fabricación de circuitos impresos tiene un costo accesible así como el costo de los circuitos integrados, elementos electrónicos pasivos y activos.
 - Economía, las condiciones económicas actuales no son malas. Lo demuestra la enorme cantidad de microempresas en todo el Perú.
 - Sociocultural, los peruanos tienen ansias de mejora, creen en la inversión y el ahorro. Un locutorio es considerado una inversión rentable. Un tarifador nacional en un principio no sería bien visto pero un buen precio puede hacer cambiar de opinión. La demografía favorece, pues donde mayor concentración haya mayor es la escasez de recursos y mayor la necesidad de locutorios públicos.
 - Político-Legal, la regulación técnica lo da el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (homologación) y aun no hay leyes específicas que regulen los precios en los locutorios. La actitud política a simple vista fomenta la formación de microempresas.

- Medio Ambiente de Tarea, formado por variables que afectan más cercanamente al sistema:
 - Competidores, en el año 2003 sólo existían tarifadores extranjeros, principalmente de Argentina. A principios del año 2005 podíamos además encontrar soluciones colombianas y peruanas. Esto obligó a los productos argentinos a disminuir sus precios de venta hasta en un 17%, y en principios del 2007 los productos Argentinos han introducido soluciones autónomas.
 - Clientes, en el año 2003 los Locutorios principalmente eran formados por empresas medianas y sus tercerizados. Los locales que alquilaban Internet improvisaban mini locutorios. Luego de unos años con su auge en el 2005 muchos microempresarios eran tercerizadores de ya varias empresas operadoras telefónicas por todo el país. Y un locutorio por norma debía tener tarifadores.
 - Proveedores, para la fabricación de tarifadores todos los insumos se pueden conseguir en Lima. Salvo en ciertas temporadas de escasez es necesario importarlas sin dificultad de China, EEUU o Japón. Ahora hablando del servicio de telefonía existen muchas empresas nacionales operadoras telefónicas y la mayoría brinda un servicio completo para locutorios. También las hay en el extranjero a las cuales se les manda las llamadas por Internet.
 - Fuerza Laboral, para la fabricación de tarifadores se necesita personal que suelde los componentes a los circuitos impresos y otro personal que ensamble las partes. Ambos se pueden conseguir localmente a buen precio.

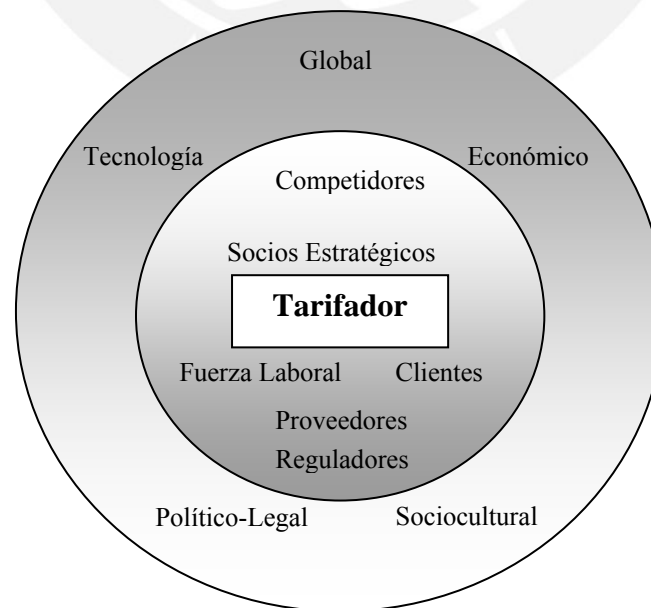


Fig.1.1 Medio Ambiente Externo del Proyecto Tarifador

- Socios Estratégicos, como mencionamos China es una gran productora mundial, por tal se pensó en ella no sólo como en proveedora. El resultado fue una posible reducción de costos de fabricación de hasta 50% incluyendo la fabricación de cajas plásticas. Las empresas chinas fabricarían los circuitos impresos y soldarían los componentes, fabricarían las cajas y lo mandarían en ambas partes hacia el Perú (sin ensamblar). Aquí se programaría el microcontrolador con el firmware y se ensamblaría. El ensamblaje local es necesario por las políticas peruanas de exportación. El inconveniente es el capital inicial, pues la cantidad mínima de fabricación es de mil unidades.
- Elementos Reguladores, agencias reguladoras como Indecopi promueven el proceso de patente.

1.2. Visión Actual

A principios del 2007 a la luz de las variables externas podemos mencionar que el mercado para el tarifador fue magnífico. Pero ahora debemos apuntar a otros mercados, a las ciudades no principales de cada departamento y por supuesto las zonas rurales.

La tecnología VoIP por su versatilidad y costo es indicada para las comunicaciones rurales, ya sea telefonía de abonado o pública. Las zonas rurales han sido poco explotadas y son un mercado prometedor. Actualmente ya hay pretensiones de empresas nacionales de hacer lo mencionado, no sólo telefonía sino también Internet y en un futuro cercano televisión, todo por una red inalámbrica IP.

2. ANÁLISIS DE LA METODOLOGÍA

2.1. Conceptos Básicos

A nosotros nos interesa conocer como una llamada telefónica se genera y los procesos que conlleva establecerla y liberarla, para así saber que costo aplicarle. Estos procesos están comprendidos en la señalización telefónica.

En el contexto de telefonía, el concepto de Señalización implica el intercambio de información referida al establecimiento, supervisión y liberación de la comunicación, desde un punto a otro [2].

La señalización tradicionalmente se divide en dos grupos [2]:

- Señalización entre Centrales
- Señalización de Abonado

Los sistemas de Señalización entre Centrales se dividen en [2]:

- Señalización por Canal Común (CCS). Se utilizan enlaces de datos entre los procesadores de las centrales para la señalización, dejando los circuitos de voz para el habla. Entonces un enlace de datos de señalización puede llevar a cabo la señalización para un gran número de circuitos de voz. Algunos sistemas de canal común son: el sistema ITU-T N°6 y el sistema ITU-T N° 7. La ITU-T antiguamente era la CCITT.
- Señalización por Canal Asociado (CAS). Se caracteriza porque para cada canal de habla existe un camino de señalización definido. Ese camino puede ser un canal de habla (el habla y la señalización en la misma banda) o un canal asociado (un canal separado dedicado solamente para la señalización). Ejemplos: el sistema ITU-T N°4 (o 2VF, dos frecuencias vocales), el ITU-T N°5 (o MFP, multifrecuencia por pulsos) y el MFC (multifrecuencia obligada).

Por dirigirnos a la generación de llamadas nos interesaría la Señalización de Abonado. Ésta se considera comprendida por dos tipos:

- Señalización Analógica de Abonado
- Señalización Digital de Abonado

Nos importaría entonces la Señalización Analógica de Abonado ya que es usada en la telefonía fija de acceso analógico en el Perú [1]. La señalización digital se sobreentiende para una Red Digital de Servicios Integrados (RDSI), lo que no comprende el objetivo de este proyecto.

La señalización telefónica en el Perú es normada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) el cual en su Plan Técnico Fundamental de Señalización [1] menciona las tecnologías a ser utilizadas en el Perú.

2.2. La telefonía fija en el Perú

Hoy en día (años 2004 al 2007) la Red Pública Telefónica Conmutada (o PSTN, siglas en inglés) ha sufrido innumerables actualizaciones que le permiten manejar nuevas tecnologías como ASDL, visualización del número llamante (o CLIP), señal de tasación, etc.

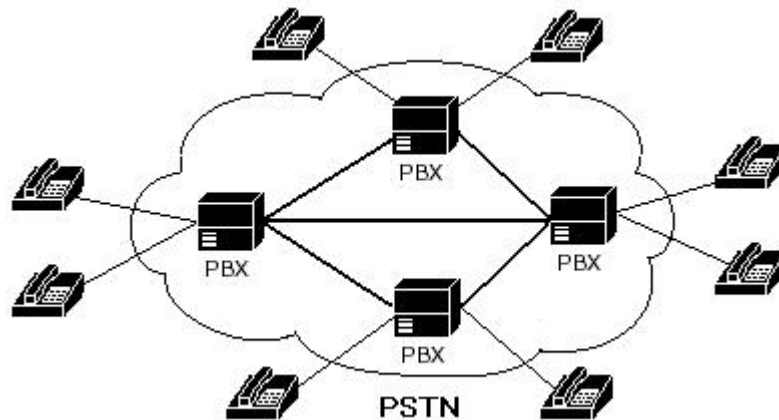


Fig.2.1 Ejemplo de una Red Pública Telefónica Conmutada

Una PSTN tradicionalmente está conformada por un grupo de centrales telefónicas analógicas y digitales interconectadas entre sí por circuitos o canales y enlaces. Se suele decir que la PSTN es una red por conmutación de circuitos porque la manera de conectar dos teléfonos es conmutando los canales o circuitos entre centrales hasta formar un camino físico dedicado entre ambos teléfonos para el transporte de voz durante la llamada.

Un ejemplo de PSTN se ve en Fig.2.1 donde las centrales telefónicas están representadas por las PBX y cada PBX da servicio a dos teléfonos analógicos. Los circuitos y enlaces que unen a las centrales (PBX) están representados por las líneas gruesas. Como dijimos en 2.1, los circuitos y enlaces transportan la voz y la señalización respectivamente y como estos enlaces son digitales (se suponen centrales digitales), el transporte de señalización se hace por conmutación de paquetes [2].

Ahora, en el Perú el sistema de señalización entre centrales utilizado es por Canal Común, siendo más específico, en el numeral 4.1 de [1] se menciona al Sistema de Señalización de Canal Común N° 7 (SS7) como norma nacional. La SS7 se implementó por la ITU-T (para más detalle ver [3]).

Los enlaces que unen a las centrales telefónicas digitales según la norma de cada país pueden ser T1, T3, E1, E3, OC-1, OC-3, etc.

Una norma muy utilizada en el Perú es la europea E1 (de la ITU-T). Ésta no transporta la voz analógicamente por circuitos sino que la digitaliza y la transporta por uno de sus 32 canales de 64kbps, donde un canal sólo puede transportar una llamada telefónica. Un E1 es el resultado del multiplexado por división en el tiempo de las llamadas digitalizadas que esté transportando. La señalización de estas llamadas también lo transporta por un canal digital, usualmente es el canal 16 y la sincronización de trama

utiliza el canal 0. Se puede agrupar enlaces E1 donde la señalización de las llamadas de todos los E1 agrupados se transporte sólo por el canal 16 del primer E1, así los E1 posteriores pueden transportar hasta 31 canales de voz.

La telefonía pública peruana se considera como una extensión de la telefonía fija, es decir, los teléfonos públicos se unen a la PSTN como lo hacen los teléfonos analógicos graficados en Fig.2.1. Como se dijo en 1.2, la telefonía pública está siendo influenciada por nuevas tecnologías alternativas a la PSTN. Hoy en día para generar una llamada por un teléfono público ya no sólo se usa la PSTN, un claro ejemplo es la tecnología de Voz sobre el Protocolo de Internet (VoIP).

La necesidad que generó esta tecnología es el elevado costo de una llamada de larga distancia generada en la PSTN. Y ya que el costo de acceder a Internet es aceptable, se pensó utilizar el Internet para transportar una llamada telefónica (página 1 en [4]).

2.3. Red VoIP

La tecnología de VoIP se diseñó para funcionar sobre una red de Protocolo de Internet (o red IP). Una red IP es una red informática que usa el Protocolo de Internet en la capa 3 de OSI. Recordemos que una red informática se basa teóricamente en el Modelo de Referencia OSI (capítulo 2 en [5]). Éste modelo sugiere la distribución de las funciones en la red en siete capas numeradas (ver Fig.2.2).

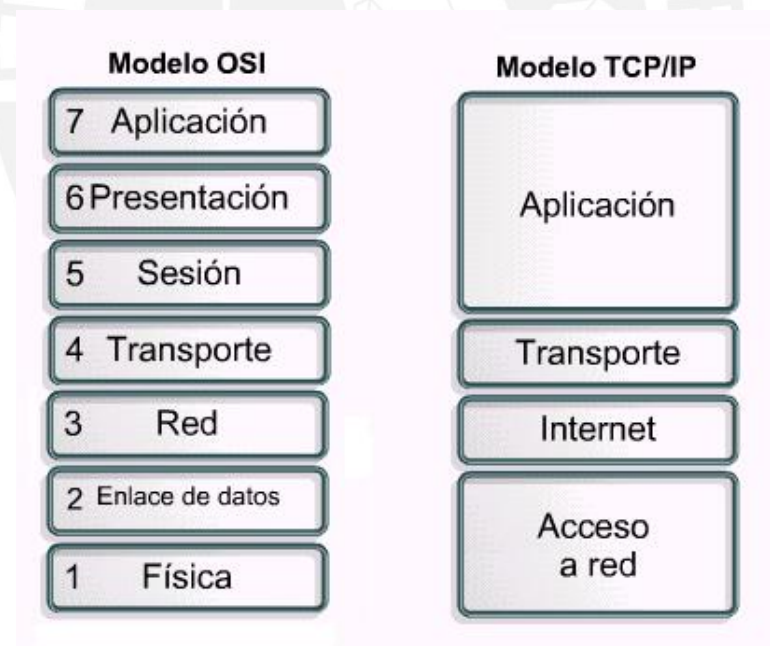


Fig.2.2 Modelos de referencia para redes informáticas

El Modelo OSI sólo sirvió de referencia para poder definir modelos comerciales. El modelo TCP/IP diseñado por el Departamento de Defensa de EE.UU. es el estándar histórico y técnico de Internet [5]. TCP/IP se basó en el Modelo OSI como se aprecia en Fig.2.2 y usa en la capa de Internet, al Protocolo de Internet (IP) y en la capa de Transporte al Protocolo de Control de Transmisión (TCP). Cada capa de TCP/IP está

compuesto por protocolos lógicos y físicos definidos por distintos proveedores (para más detalles de las funciones de cada capa ver capítulo 2 en [5]).

Físicamente una red informática está compuesta por distintos dispositivos de red con funciones bien definidas (muy parecido al modelo OSI) y los enlaces alámbricos o inalámbricos que los conectan (ver Fig.2.3).

Una red informática según su tamaño y cobertura se puede definir como [5]:

- Red de Área Local (LAN). Red informática dispuesta en un inmueble de una empresa que permite compartir localmente archivos y recursos de manera eficiente, y posibilitar las comunicaciones internas.
- Red de Área Amplia (WAN). Se encargan de conectar a las LAN en un área geográfica extensa. Así, empresas muy alejadas pueden compartir recursos de red. Usan los servicios de proveedores de telecomunicaciones como: Telefónica del Perú, Telmex, Americatel, Equant, Regional Bell, Sprint, MCI, etc.

En Fig.2.3 una LAN sería el conjunto de un Switch, Computadoras, Impresoras, Servidores, la interfase LAN del router y los enlaces que los interconectan.

Una WAN en Fig.2.3 estaría representada por los routers interconectados dentro de la nube, los enlaces seriales y la interfase serial del router que conecta a la LAN.

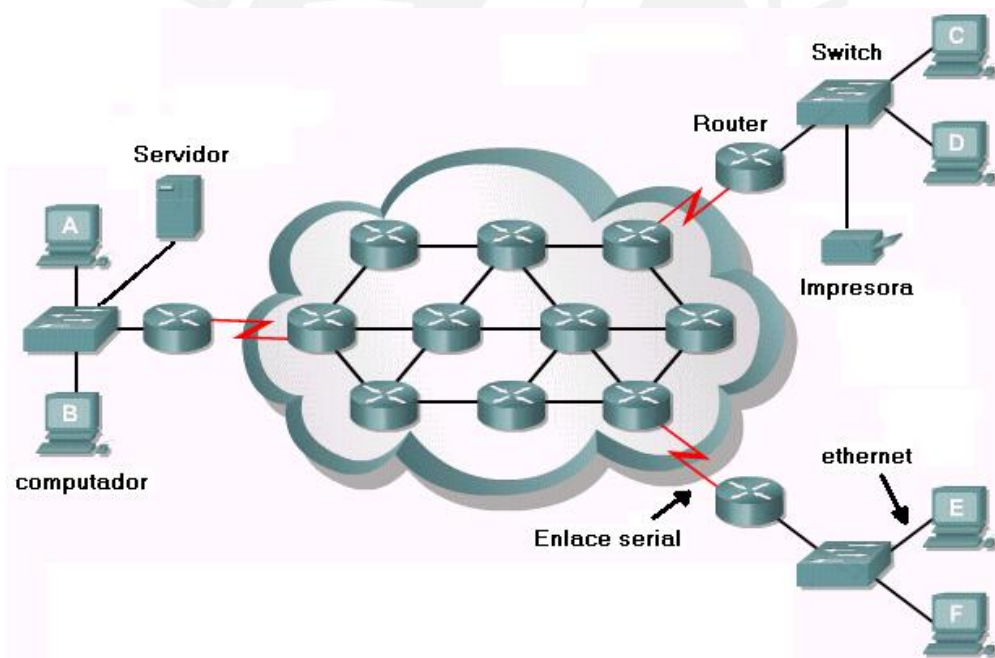


Fig.2.3 Ejemplo de Red Informática

Aquí la definición de algunos dispositivos de red dentro de una LAN:

- Equipos terminales: Como el Computador, Impresora y Servidor. Trabajan en contacto con los usuarios de la red.
- Switch o Conmutador de múltiples puertos: Interconecta a los equipos terminales y se encarga básicamente de la conmutación de paquetes dentro de la LAN. Toma decisiones en la capa 2 de OSI.

- Router: Puede conectar una LAN con una WAN y se encarga básicamente de enrutar paquetes fuera de la LAN hasta su destino. Toma decisiones en la capa 3 de OSI.
- Gateway: Dispositivo que básicamente conecta dos redes física o lógicamente distintas.
- Punto de Acceso: Es un Gateway que posibilita a la LAN del medio inalámbrico. O sea, los dispositivos inalámbricos utilizan al punto de acceso para conectarse con la LAN.

Los enlaces comunes que se usan en una LAN pueden ser:

- Ethernet: Es una tecnología LAN que utiliza medios físicos alámbricos. Además esta tecnología define protocolos de capa 2 de OSI para el correcto funcionamiento del medio físico. Más que una tecnología es una familia de tecnologías compuesta por ejemplo por: Ethernet (10Mbps), Fast-Ethernet (100Mbps), Gigabit-Ethernet (1Gbps) y Ethernet de 10Gigabits. Pueden usar medios físicos como cable UTP (Par Trenzado Sin Apantallamiento) de categoría 3, 5 o 5e y fibra óptica multimodo o monomodo.
- Otras tecnologías alámbricas LAN son: FDDI y Token Ring.
- Medios inalámbricos: Radiofrecuencia (RF), láser, infrarrojo (IR) o microondas.

Los dispositivos de red dentro de una WAN son innumerables, entre ellos están los Gateways y los módems, estos últimos modulan y demodulan la señal de datos según el medio físico usado en la WAN.

Los enlaces usados en la WAN varían según la distancia y velocidad que se quiera alcanzar así como el tipo de servicio [5].

Podemos encontrar en la capa física OSI: al par telefónico por DSL (línea de suscripción digital), la interfaz RDSI, la fibra óptica (OC-3, OC-12, etc), el cable coaxial de TV, enlaces E1 o T1, microondas, radiofrecuencia, satélite, etc.

La capa de enlace (capa 2 de OSI) en la WAN también varía según el medio físico. En esta capa podemos encontrar protocolos como: Protocolo Punto a Punto (PPP), Protocolo Frame Relay, HDLC (Control de enlace de datos de alto nivel), Protocolo Internet de enlace serial (SLIP), ATM (Modo de Transferencia Asíncrono), etc.

Ahora se procura que en la capa 3 de OSI se use el Protocolo de Internet entonces tendremos una red IP, y jugando con las capas superiores y las características de la trama IP podremos implementar una red VoIP. Para la generación de las llamadas podemos usar un gateway con puertos de voz y puertos de red. Los puertos de voz permiten el transporte o generación de voz como se hace en la telefonía convencional, o sea, permiten la conexión a una central telefónica o la conexión a un teléfono analógico.

2.4. Telefonía VoIP y telefonía convencional

Si deseamos llamar a un abonado de la PSTN desde una red VoIP necesitaremos que ambas redes estén conectadas, para ello están los Gateways. Éstos son fabricados por distintas empresas y la líder mundial es Cisco Systems, Inc., la cual agrupa a sus routers (que pueden cumplir funciones de gateways) en series o familias.

La Fig.2.4 muestra una solución de Cisco Systems, Inc. para la implementación de una red VoIP usando los routers Cisco de la serie 3600 [6]. Se aprecia que el router Cisco 3600 (Router 2) usa un enlace T1 para conectarse a una central telefónica y una tarjeta de red para conectarse a una red IP.

La telefonía pública peruana se orienta a la generación de llamadas de larga distancia. Un ejemplo de esto es el mostrado en Fig.2.5, donde se aprecian dos maneras diferentes de hacer una llamada desde Lima hacia un abonado fijo de Huánuco.

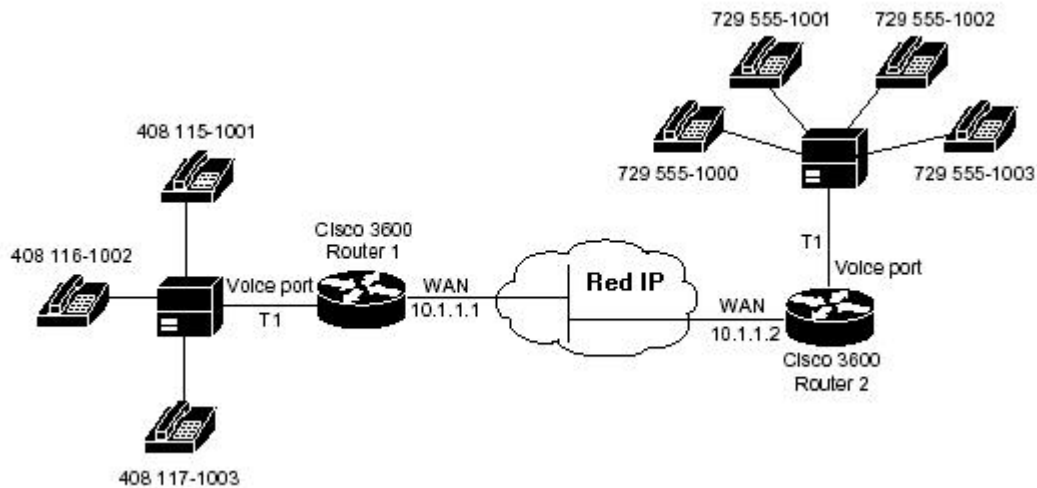


Fig.2.4 Ejemplo de una Red VoIP

La manera tradicional de hacer llamadas de larga distancia es entre abonados de la PSTN. Por ejemplo, en Fig.2.5 la llamada se genera en el abonado (1)2254536 de Lima, y termina en el abonado (64)325353 de Huánuco. Usando la red VoIP la llamada se genera en el anexo 11225 ubicado en Lima, y se termina igualmente en el abonado (64)325353 de Huánuco.

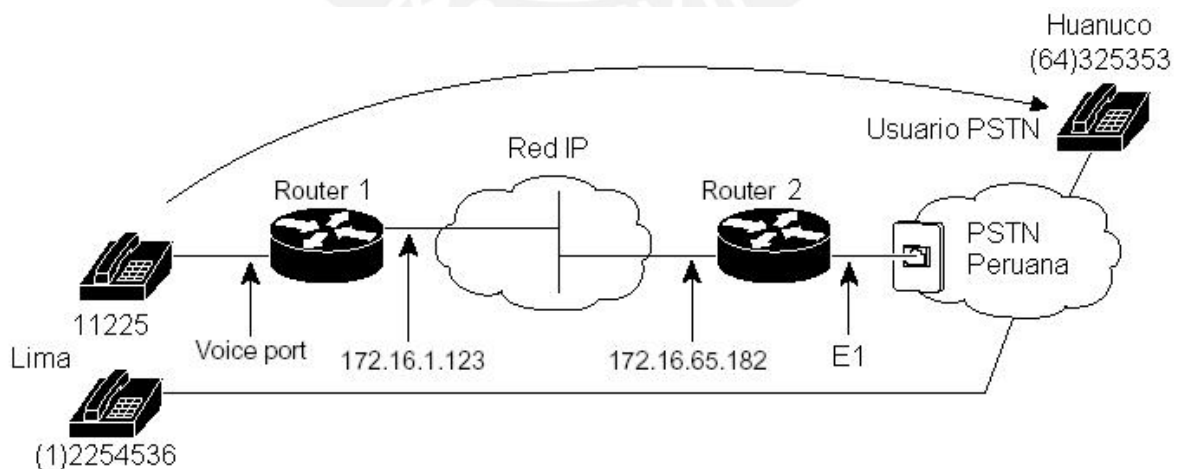


Fig.2.5 Comparando una llamada por la PSTN y por la red VoIP

El Router 1 ubicado en Lima (ver Fig.2.5) posee un puerto de red IP y un puerto de voz, este último es una emulación de un POTS (Servicio Telefónico Analógico), o sea el teléfono que se conecte a una PSTN se puede conectar a este puerto.

El Router 2 también posee un puerto de red IP y un puerto para un enlace E1, el cual usa para conectarse a la PSTN peruana. La ubicación del Router 2 depende de donde se encuentre la interconexión a la PSTN peruana, puede ser en Lima, Huánuco o cualquier ciudad del Perú que lo permita.

Como vimos en 2.4 la red IP de Fig.2.5 puede tener el medio físico y lógico más conveniente para conectar satisfactoriamente el Router 1 y el Router 2, considerando sus posiciones geográficas.

Debemos mencionar que generalmente se separa el canal de señalización del enlace que nos conecta a la PSTN (en Perú el canal 16 de un E1) del resto de canales de voz que van al gateway para su respectiva conversión en paquetes IP. El canal de señalización es analizado y registrado. El trabajo de convertir la señalización PSTN a paquetes IP muchas veces lo realiza otro router, diferente al gateway anterior, ganándose el nombre de “señalizador”. Con la señalización en paquetes IP se puede obtener un registro de cada llamada, dato vital para la facturación (ver 2.12).

2.5. ¿Cómo resulta ser más económica una llamada por la red VoIP?

La clave de la red VoIP es la flexibilidad en la red IP (ver Fig.2.5). Esta puede ser considerada una WAN y por lo tanto usar los servicios de los proveedores de telecomunicaciones. O podríamos implementar esa WAN considerando la economía y las posiciones geográficas que deseemos conectar. Por ejemplo si fuese una ciudad de la región amazónica la WAN convendría ser un enlace Punto a Punto Satelital en banda C, si fuese en la región costa arrendar un enlace dedicado de fibra óptica es accesible, incluso usar el ADSL para conectar los extremos usando el Internet (verificando un mínimo de ancho de banda) es factible. Es decir podemos alquilar los servicios de las empresas proveedoras (tarifa plana en el orden de las decenas o cientos de dólares americanos) o podemos implementar nuestra propia conexión y aún así el gasto por el enlace resulta más económico que implementar una PSTN.

El Router 1 en Fig.2.5 permite usar teléfonos analógicos para generar llamadas y enrutarlas por la red IP. Varias empresas los fabrican y mientras más servicios brinden o más puertos de voz posean, mayor es su costo (en el orden de los cientos o miles de dólares americanos).

Claro está que la posición geográfica del Router 2 en Fig.2.5 es muy importante, ya que es nuestro acceso a la PSTN peruana y debemos observar que la llamada al fin y al cabo pasará por la PSTN (ya que el abonado llamado pertenece a la PSTN). Se puede tener uno de estos routers en cada ciudad o sólo tener uno en un punto donde la conexión con la PSTN sea más factible considerando que uno de estos routers no es barato y mientras más enlaces posea más caro será (en el orden de las decenas de miles de dólares americanos).

- Pongámonos en el caso de que el Router 2 esté en Huánuco (ver Fig.2.5), entonces nos estamos conectando directamente a la PSTN de Huánuco, pero debemos pagar el transporte dentro de la PSTN de Huánuco. O sea debemos

pagar el costo de una llamada local para llegar al abonado de Huánuco (el denominado “costo por terminación”).

- Pero si el Router 2 está en Lima u otra ciudad que no sea Huánuco entonces debemos pagar el costo de una llamada de larga distancia nacional (“costo por transporte”) y el “costo por terminación”.

Como vemos, el segundo caso parece favorecer en nada a la reducción del costo de la llamada de larga distancia. Y es porque no estamos considerando tener un contrato de interconexión con la empresa administradora de la PSTN. Ya que si compramos paquetes de minutos o nos comprometemos a generar minutos en los ordenes de los cientos de miles o millones podemos obtener precios ínfimos por terminación de llamadas locales o de larga distancia (ambos en el orden de los centésimos de dólar americano por minuto).

Entonces, como el gasto por el enlace es un valor plano y aceptable, como el gasto por la terminación es pequeño si logramos generar muchos minutos y como el costo de los equipos necesarios para implementar la red VoIP se puede acomodar a un valor aceptable, podemos concluir en un bajo costo en la generación de llamadas por una red VoIP.

2.6. Estándares para VoIP

Una red VoIP depende del estándar que utiliza y en la actualidad estos son los más usados:

- Estándar H.323
- SIP (Session Initiation Protocol)
- MGCP (Media Gateway Control Protocol)

En el Perú los más difundidos son H.323 y SIP, siendo pionero el estándar H.323. Está en discusión cual es el mejor, pero opiniones de ingenieros de campo sugieren que SIP tiene mejor comportamiento cuando se usan enlaces de limitado ancho de banda.

2.7. Estándar H.323

Fue constituido por la ITU-T en octubre de 1996 y se diseñó para el transporte en tiempo real de voz, video y datos sobre una red basada en conmutación de paquetes (esta red puede no proveer calidad de servicio garantizada). La segunda versión de este estándar salió en enero de 1998 y se fue buscando mayores prestaciones hasta llegar a la cuarta versión en noviembre del 2000.

Este estándar usa un conjunto de protocolos y componentes para implementar la red VoIP (página 3 en [7]). Entre los componentes tenemos (ver Fig.2.6):

- El Terminal, es un dispositivo de usuario final usado para la comunicación multimedia bidireccional en tiempo real. Puede ser una PC (con un software H.323) o un dispositivo específico como un teléfono IP o un gateway (gateway

Terminal) con puertos de voz POTS. Su función principal es la conversión analógica – digital de la señal multimedia, su compresión y enrutamiento en paquetes IP. Igualmente hace la función inversa para lograr la comunicación.

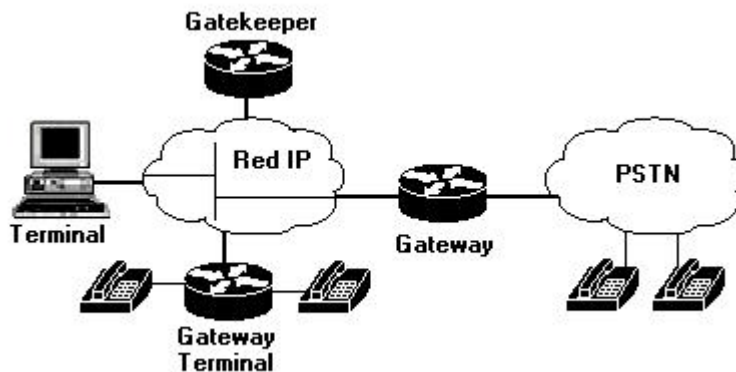


Fig.2.6 Red de telefonía usando H.323

- El Gateway, conecta la red IP (en este caso también llamada red H.323) con otra red que no sea H.323 (por ejemplo la PSTN como se ve en Fig.2.6). Traduce los distintos protocolos para la conexión, establecimiento y culminación de llamadas. Puede no usarse para llamadas dentro de la red H.323.
- El Gatekeeper, este equipo proporciona el servicio de control de llamadas a los puntos finales (terminales o gateways), traduce el número telefónico marcado a la dirección IP de un determinado gateway o terminal, además brinda servicios de autenticación y autorización de terminales y gateways, manejo de ancho de banda y opcionalmente puede proveer los Call Detail Record (CDR) y control de señalización. Para más detalles ver el capítulo 6 de [7].

Los protocolos más significativos (capítulo 4 de [7]) son:

- Codificadores de Audio: Codifica y decodifica (logrando una compresión) la señal de audio del micrófono para su transporte por la red H.323. El codificador G.729 comprime el audio a 8kbps, el G.723r63 a 6.3kbps y el G.711 a 64kbps (igual que un canal E1).
- Codificadores de Video: Codifica y decodifica el video para su transporte por la red H.323. Sólo algunos puntos finales lo tienen pues el estándar H.323 especifica el transporte de video como una prestación opcional.
- Protocolo H.225 RAS, usado en el registro, admisión y verificación de estado de los puntos finales. Es usado entre el gatekeeper y los puntos finales.
- Protocolo H.225 Señalización de Llamada, usado para establecer una conexión entre dos puntos finales, así como su desconexión.
- Protocolo H.245 Señalización de Control, usado para intercambiar mensajes de control que gobiernan las operaciones de los puntos finales que se estén comunicando.
- RTP (Real-Time Transport Protocol), provee servicios de entrega de video y audio en tiempo real entre los puntos finales. Usualmente lo hace sobre el protocolo de transporte UDP. RTP en conjunto con UDP cumplen la función de un protocolo de capa de transporte.

- RTCP (Real-Time Transport Control Protocol), provee servicios de control. Principalmente provee realimentación de la calidad de distribución de los datos.

El Codificador de audio nos indicará cuanto ancho de banda utiliza una llamada en la red H.323, así multiplicando ese valor por la cantidad de líneas que deseamos instalar tendremos el ancho de banda aproximado que deberá manejar la red H.323. Es un valor aproximado pues no se está considerando las distintas partes que conforman un paquete como las cabeceras de los distintos protocolos de cada capa OSI.

2.7.1. Una llamada telefónica en H.323

Una llamada H.323 pasa por las siguientes fases:

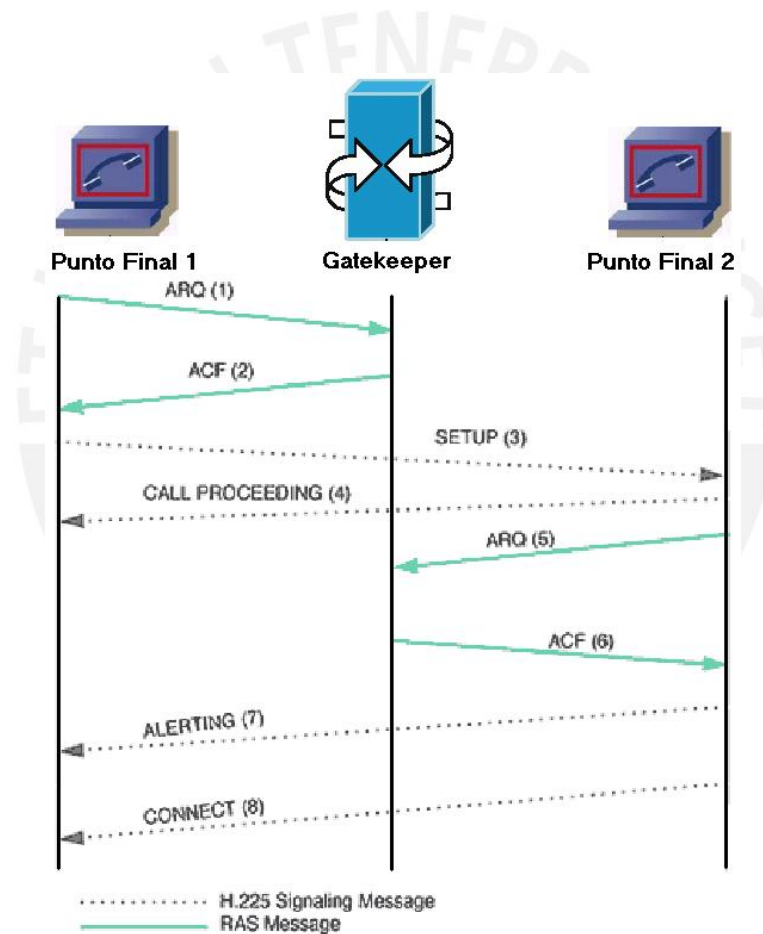


Fig.2.7 Establecimiento de una llamada H.323

- Establecimiento de la llamada (Fig.2.7). El terminal llamante debe registrarse en el Gatekeeper (mensaje ARQ), y en este ejemplo pedirá “señalización directa entre terminales”. El gatekeeper confirma la admisión del llamante con el mensaje ACF e indica su conformidad sobre el pedido del llamante del tipo de señalización (el registro ya no se vuelve a hacer para las siguientes llamadas y el terminal llamado también debe estar registrado). El terminal llamante envía un

mensaje de SETUP al terminal llamado, este último contesta con un mensaje CallProceeding y Alerting indicándole el inicio del establecimiento de la llamada. Cuando el usuario contesta en el terminal llamado (descuelga) se envía el mensaje Connect.

- Negociación de parámetros (página 16 de [7]). En esta fase se abre una negociación mediante el protocolo H.245 (señalización de control), el intercambio de los mensajes (petición y respuesta) entre los dos terminales establecen las capacidades de los participantes y codificadores de audio y video. Como punto final de esta negociación se abre el canal de comunicación (direcciones IP, puerto).
- Comunicación (Fig.2.8), los terminales efectúan la comunicación mediante los protocolos RTP y RTCP. Se envía segmentos de multimedia en RTP y mensajes de control en RTCP.
- Liberación de la llamada (Fig.2.9), en el ejemplo el terminal llamado comienza la liberación de la llamada con el mensaje EndSessionCommand, el terminal llamante confirma su aceptación de liberación enviando el mismo mensaje. El terminal llamado completa la liberación de la llamada enviando el mensaje ReleaseComplete (opcionalmente los terminales pueden pedir su desenganche del gatekeeper con el mensaje DRQ).

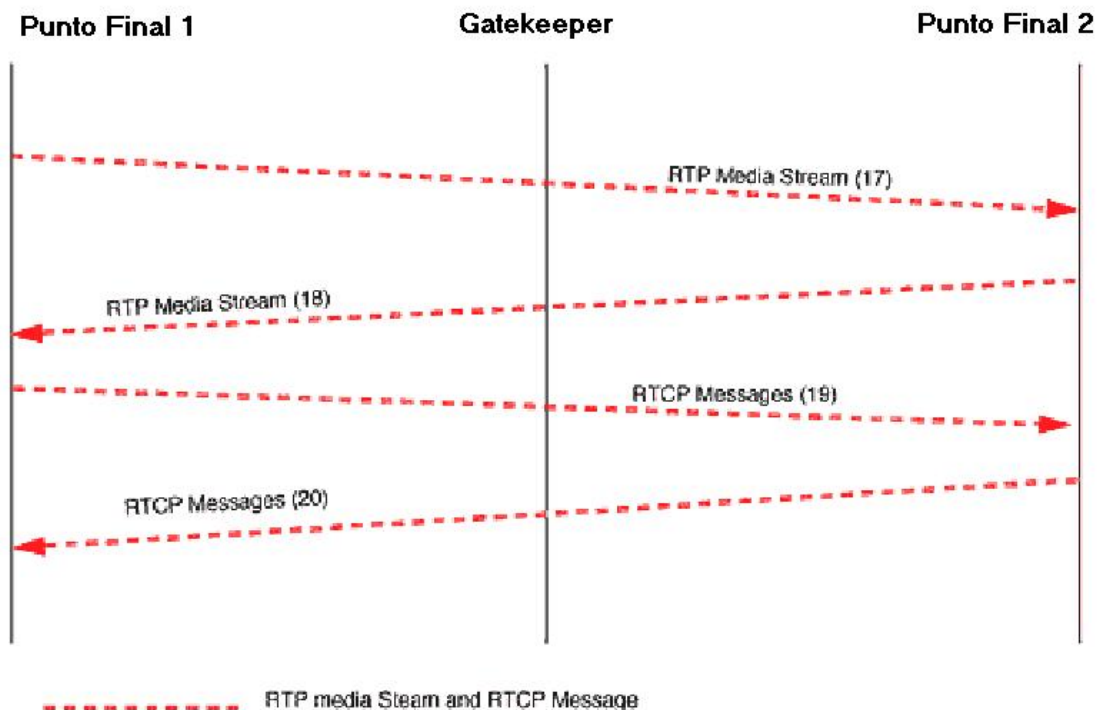


Fig.2.8 Comunicación en H.323

Con respecto a la señalización, en H.323 existen tres modos en que se le transmite:

- Directamente a través del terminal, los mensajes de señalización son enviados directamente entre los puntos finales (obviamente no los mensajes RAS, un ejemplo es Fig.2.7 y Fig.2.9).
- Señalización encaminada por el gatekeeper, los mensajes H.225 de RAS y los mensajes H.225 de Señalización de Llamada se encaminan a través del Gatekeeper, mientras que los mensajes de control H.245 son encaminados directamente entre los dos terminales.
- Variación de la señalización encaminada por el gatekeeper, es cuando todos los mensajes de señalización entre los terminales son enrutados a través del Gatekeeper, incluyendo los mensajes de control H.245.

Según los propósitos de este proyecto nos interesa el momento en que una llamada se establece y se libera (Protocolo H.225 de Señalización de Llamada), pues cuando el mensaje Connect (Fig.2.7) llegue al terminal llamante nuestro tarifador debe comenzar a contar el tiempo de duración de la llamada y parar la cuenta cuando llegue el mensaje ReleaseComplete (Fig.2.9). Es de suma importancia saber que existen gateways terminales como en Fig.2.6 que proporcionan una señal analógica sobre el puerto POTS al recibir el mensaje Connect y la retira al recibir el mensaje ReleaseComplete (más detalles en 2.10.4).

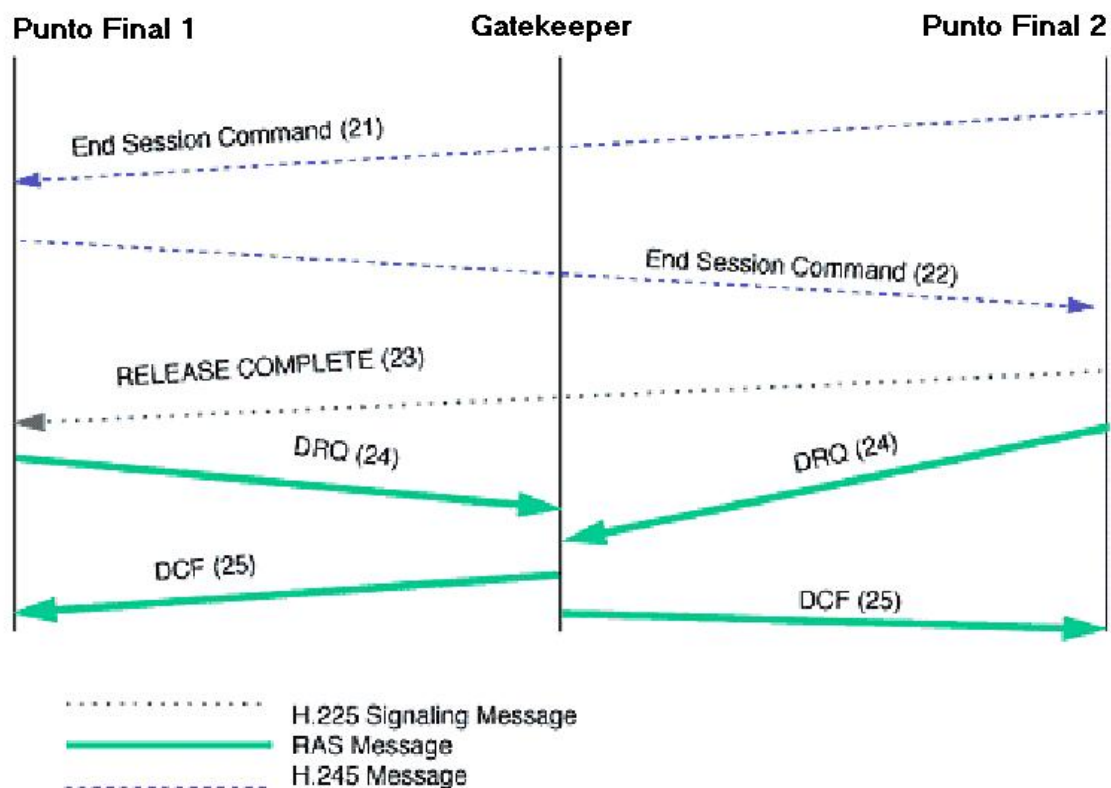


Fig.2.9 Liberación de una llamada H.323

Para el caso de la telefonía pública los terminales H.323 se encontrarían en el local de atención y comprenden el Lado del Abonado de la Red de Telefonía.

2.8. SIP (Session Initiation Protocol)

Es un protocolo para conferencias multimedia en una red IP publicado en 1996 por la IETF (Internet Engineering Task Force) en la RFC 2543 [8]. La segunda versión de este protocolo se publicó en junio del 2002 en la RFC 3261. SIP se establece entre los puntos finales y es un protocolo de señalización ubicado en la capa de aplicación para el establecimiento y gestión de sesiones con múltiples participantes. Se basa en mensajes de petición y respuesta y reutiliza muchos conceptos de estándares anteriores como HTTP y SMTP.

Los componentes fundamentales SIP son: Los Agentes de Usuario (User Agent) y los Servidores SIP (ver Fig.2.10).

- User Agent's: A cada punto final se le llama User Agent (UA), y un User Agent según su función se puede llamar:
 - User Agent Client (UAC), el que inicia un requerimiento SIP.
 - User Agent Server (UAS), el que atiende el requerimiento SIP y retorna una respuesta.

Ejemplos (página 1-3 en [8]):

- Teléfonos, pueden actuar entre un UAC y un UAS (nos referimos a un gateway SIP con puertos de voz POTS). También están los Softphones (o PC's con software para realizar llamadas) y los Teléfonos SIP IP (teléfonos que se conectan directamente a la red SIP).
- Gateways, provee el control de las llamadas y su función más común es unir la red SIP con otro tipo de red (por ejemplo la PSTN).

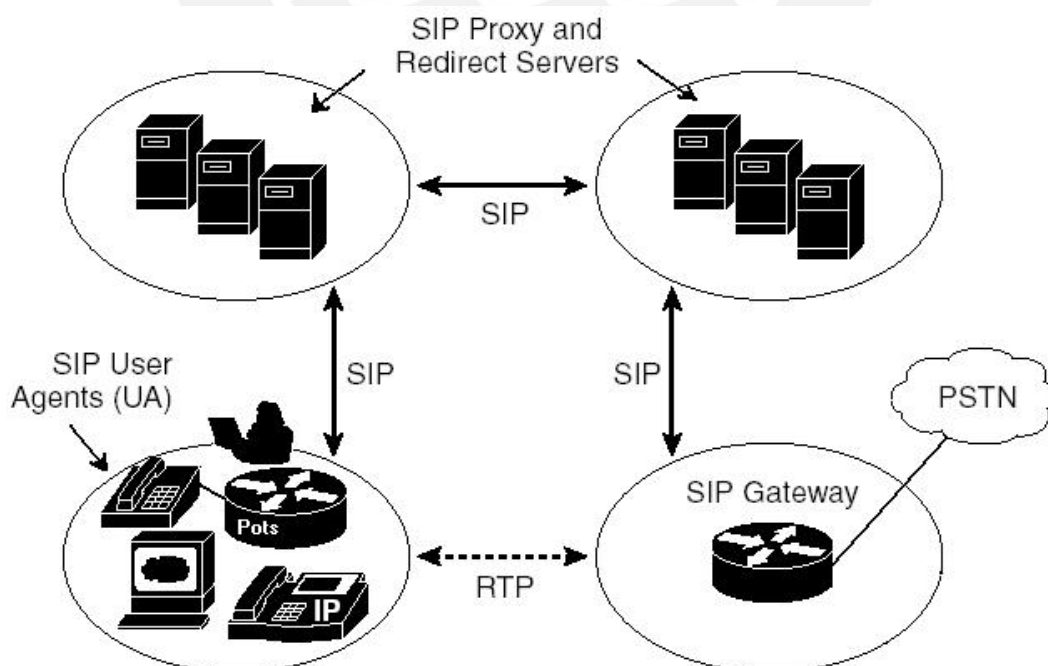


Fig.2.10 Arquitectura SIP

- Servidores SIP:
 - Servidor Proxy, es un intermediario que recibe un requerimiento SIP de un UA y lo reenvía a otro UA. Además el servidor Proxy provee funciones de autenticación, autorización, enrutamiento y seguridad.
 - Servidor de Redirección, provee al cliente la información del salto o saltos que debe tomar su mensaje para que luego el UAC contacte al UAS directamente.
 - Servidor de Registro, procesa los requerimientos de los UAC para el registro de su localización actual. Así podrá suministrar un servicio de localización y traducción de direcciones en el dominio que controla. Este servidor se usa en conjunto a cualquiera de los servidores anteriores.

Los protocolos usados en SIP son:

- RTP/RTCP: El protocolo RTP se usa para transportar los datos de voz en tiempo real (igual que para el estándar H.323).
- SDP, se usa para el anuncio y la negociación de las capacidades de los participantes de una sesión, tipo de codificación, etc.

2.8.1. Una llamada telefónica en SIP

SIP define la comunicación a través de dos tipos de mensajes, las solicitudes (métodos) enviados por los UAC y las respuestas (códigos de estado) de los UAS.

- Métodos SIP:
 - INVITE: Permite invitar un usuario o servicio para participar en una sesión o para modificar parámetros en una sesión ya existente.
 - ACK: Confirma el establecimiento de una sesión.
 - OPTION: Solicita información sobre las capacidades de un servidor.
 - BYE: Indica la terminación de una sesión.
 - CANCEL: Cancela una petición pendiente.
 - REGISTER: Registrar al User Agent.
- Respuestas (Códigos de estado) SIP. Se pueden clasificar en:
 - Mensajes provisionales, código de estado 1xx.
 - Respuestas de éxito, código 2xx.
 - Respuestas de redirección, código 3xx.
 - Respuestas de falla de método, código 4xx.
 - Respuestas de fallas de servidor, código 5xx.
 - Respuestas de fallas globales, código 6xx.

Cuando un usuario desea comunicarse con otro usa una información parecida a un E-mail (ya que desconoce la dirección IP destino), con las cabeceras DE (donde esta el identificador del usuario llamante) y PARA (donde esta el identificador del llamado). Los identificadores pueden ser un nombre de usuario o un número telefónico (en formato E.164). Para el establecimiento de la llamada se usan mensajes que agrupados

forman una transacción SIP. En realidad la forma en que se establece la llamada depende del tipo de servidor SIP que se use.

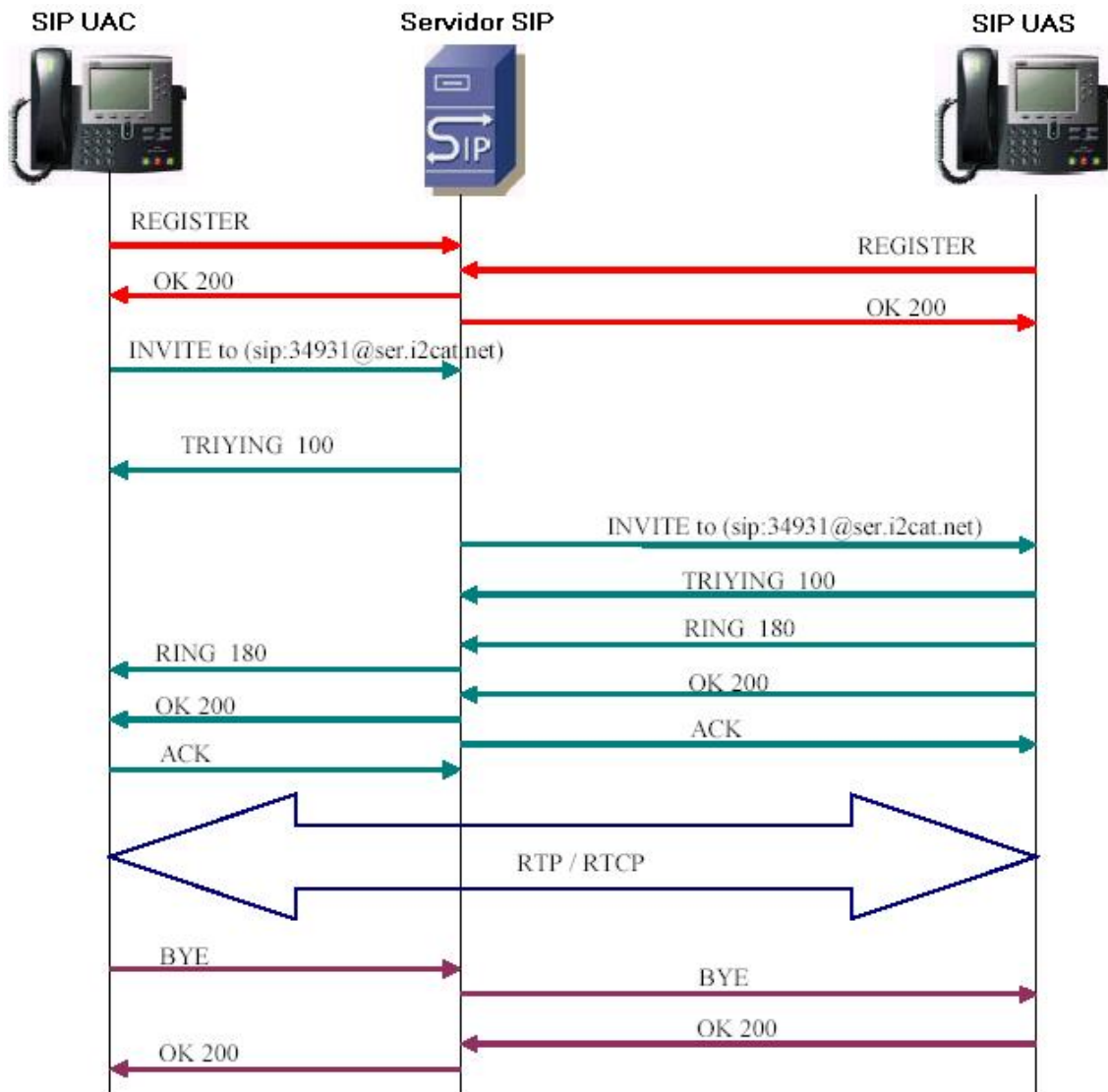


Fig.2.11 Llamada telefónica en SIP

En Fig.2.11 se aprecia una llamada SIP usando un servidor Proxy. A continuación detallaremos las transacciones de la llamada en Fig.2.11.

- Las dos primeras transacciones corresponden al registro de los usuarios. Los usuarios deben registrarse para poder ser encontrados por otros usuarios. En este caso, los terminales envían una petición REGISTER. El servidor proxy intentará autenticar al usuario (revisa la cabecera DE) y envía un mensaje de OK en caso positivo.

- La siguiente transacción corresponde a un establecimiento de sesión. Esta sesión consiste en una petición INVITE del usuario llamante al servidor proxy. Inmediatamente, el proxy envía un TRYING 100 para detener las retransmisiones y reenvía la petición al llamado. El usuario llamado envía un Ringing 180 cuando el teléfono empieza a sonar y también es reenviado por el proxy hacia el usuario llamante. Por último, el OK 200 es enviado por el llamado cuando descuelgue. Es decir, el llamante sabrá que contestaron cuando reciba el OK 200.
- En este momento la llamada está establecida, pasa a funcionar el protocolo de transporte RTP con los parámetros (puertos, direcciones, codecs, etc.) establecidos en la negociación mediante el protocolo SDP.
- La última transacción corresponde a una finalización de sesión. En este ejemplo el llamante finaliza la llamada con una única petición BYE enviada al Proxy, y posteriormente reenviada al usuario llamado. Este usuario contesta con un OK 200 para confirmar que se ha recibido el mensaje final correctamente, en este punto el llamante sabrá que culminó la llamada. Si el usuario llamado hubiese finalizado la llamada el usuario llamante sabrá de esto con sólo recibir el mensaje BYE enviado desde el usuario llamado.

Como en el caso de H.323 el gateway con puertos de voz que genera la llamada mandará una señal analógica a su puerto POTS al confirmar que la llamada se estableció.

2.8.2. Funcionamiento de los servidores SIP

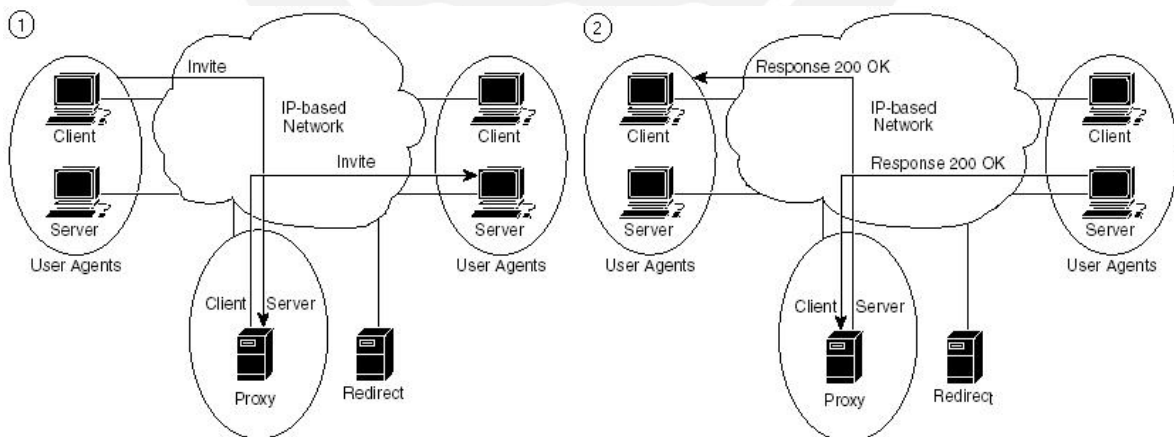


Fig.2.12 Funcionamiento del Servidor Proxy en la red SIP

En Fig.2.12 se usa un Servidor Proxy donde se aprecia que el método INVITE enviado por el UAC es redireccionado hacia el UAS y este último responde con un código de estado 200 (éxito en la invitación) el mismo que es redireccionado hacia el

UAC por el Servidor Proxy. Es decir todos los métodos enviados por el UAC y todas las respuestas de los UAS pasarán por el Proxy como intermediario.

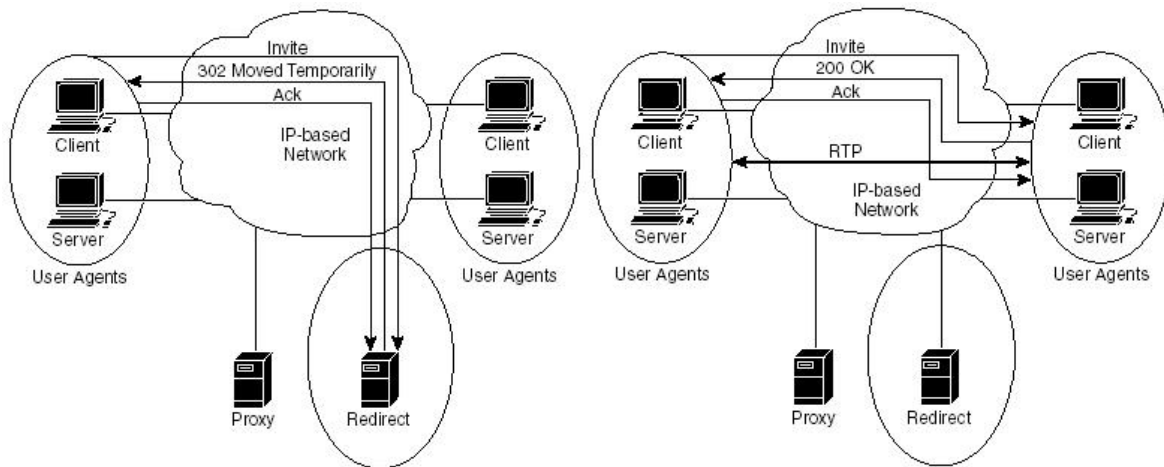


Fig.2.13 Funcionamiento del Servidor de Redirección

Como se ve en Fig.2.13 el UAC envía una invitación al servidor de redirección, este le contesta con la información del salto (código de estado 302) y espera el ACK del UAC. Luego el UAC envía una nueva invitación directamente al UAS indicado en la información de salto, el UAS le responde y espera el ACK del UAC. Lo que sigue es la comunicación en RTP entre UA's.

2.9. Lado del abonado

El lado del abonado es la parte de la red de telefonía donde se aplica la señalización de abonado mencionada en 2.1. Está comprendido por el terminal de telefonía (teléfono) y el medio físico por donde se brinda el servicio de telefonía, se sobre entiende que el medio físico es el cual une al terminal de telefonía con el puerto de voz de la central telefónica o aparato emulador propiedad del proveedor del servicio. En el lado del abonado será donde se posicionará el tarifador, ya que el cliente final o la persona que comercialice la línea telefónica tiene acceso sólo a este punto de la red.

Se vio anteriormente que en el Perú se explota el VoIP en telefonía pública, esto involucra que la interfaz de usuario deba ser conocida por el público en general. Es por esta razón que los equipos terminales de la red H.323 o SIP, tienen puertos de voz analógicos (POTS) que se conectan a los teléfonos analógicos convencionales.

Así, en el caso de una red VoIP se puede colocar el tarifador tanto en el puerto de voz como en el puerto de red IP del terminal. Pero si consideramos que una línea de abonado de la PSTN puede usarse para telefonía pública, será recomendable colocar el tarifador en el puerto de voz que se norma por la señalización analógica de abonado (una posible actualización para el presente proyecto es realizar un tarifador que se conecte al puerto de red IP).

Resumida nuestra tarea a la señalización analógica de abonado, como se menciona en [1] numeral 4.2.1, en el Perú se debe usar la señalización DTMF (Dual Tone Multi Frequency), las recomendaciones de la ITU-T y las normas del ETSI (European Telecommunications Standards Institute).

2.10. Señalización Analógica de Abonado

El ETSI menciona varias especificaciones para esta señalización de abonado entre las cuales podemos resaltar:

- Especificación EG 201 188, [9] menciona especificaciones físicas y eléctricas para el par telefónico y especificaciones para interfaces analógicas en el punto final de la red.
- Especificación ETR 206, [37] menciona la señalización multifrecuencia.

La ITU-T en su serie Q menciona las especificaciones de señalización, pero son mayormente para la señalización entre centrales y muy poca información para la señalización analógica de abonado.

- Especificación Q.700 [3], introducción al SS7 y menciona otras especificaciones que profundizan en cada punto del SS7. Nos interesa la parte de usuario de telefonía.
- Especificaciones Q.23 [11] y Q.24, menciona las características de los aparatos de teclado y la señalización multifrecuencia.
- Especificación G.100 [12], Recomendaciones generales sobre las características de las conexiones y circuitos telefónicos internacionales.

Entonces para nuestros fines nos conviene las especificaciones del ETSI. Un resumen de estas especificaciones se ve [35], hecho por BELGACOM una empresa Belga de telefonía.

La señalización de abonado se puede dividir en las siguientes señales:

- Señales de estado
- Señales de dirección
- Señales de información
- Señales de Tarifación

2.10.1. Señales de estado

Colgado:

- Como se ve en [35] capítulo 5, el par telefónico es alimentado con 72Vdc como máximo y 38Vdc como mínimo (capítulo 6 en [9]).
- La resistencia de lazo (la que se coloca entre los dos hilos del par telefónico) debe ser mayor a 15k Ω ([35], capítulo 6.1.1).
- No debe ser detectado si el colgado dura menos de 250ms ([35], capítulo 6.1.2).
- Debe ser detectado si el colgado dura más de 370ms ([35], capítulo 6.1.2).
- La corriente de lazo no debe superar los 3mA (capítulo 7 en [9]).

Descolgado:

- La resistencia de lazo debe ser menor a $2k\Omega$ ([35], capítulo 6.1.1).
- No debe ser detectado si el descolgado dura menos de 20ms ([35], capítulo 6.1.2).
- Debe ser detectado si el descolgado dura más de 200ms ([35], capítulo 6.1.2).

2.10.2. Señales de dirección

Son señales para indicar a quien llamar [11]. Se usa la señalización DTMF como se indica en el Plan Técnico Fundamental de Señalización [1], la cual se explica en la especificación ETR 206 del ETSI [37].

2.10.3. Señales de información

Son los tonos audibles (o mensajes de voz) que indican el progreso de la llamada ([9] capítulo 13). Se definen en [36], pero el que más nos debe importar es la señal de timbrado.

Las características eléctricas de la señal de timbrado ([35], capítulo 8) son:

- Voltaje entre 38 y 90 Vrms montado sobre el voltaje DC de alimentación del par telefónico.
- Forma de onda sinusoidal de $25\text{Hz} \pm 2\text{Hz}$ de frecuencia (capítulo 12 en [9]).

Es necesario que el teléfono llamado este colgado para que pueda recibir la señal de timbrado.

2.10.4. Señales de tarifación

Son las señales que indican al abonado que su llamada ha sido establecida y está siendo tasada. Pueden ser de distintos tipos:

- Pulso de 12kHz o 16kHz ([9] numeral 14.3)
- Inversión de Polaridad ([9] numeral 14.5)

Todas estas señales son proporcionadas por la central telefónica a la cual pertenece el abonado llamante y pueden ser o no características propias de la misma. En el Perú el abonado está en su derecho de solicitar este servicio a su proveedor telefónico si no lo tuviese, según Resolución Ministerial N° 859-2004-MTC/03 [10].

2.10.4.1. Tren de Pulsos de 12kHz o 16kHz

El tren de pulsos de 12kHz o 16kHz, montado en la línea telefónica, se usa como indicador de que un intervalo de tiempo (variable) ha transcurrido y ha sido facturado ([13] numeral 2.2), así puede haber varios trenes de pulsos en una llamada.

Pero también se usa sólo para indicar que ha comenzado la tarifación de la llamada establecida, o sea sólo una vez se manda el tren de pulsos. Es así como se usa en el Perú, con un tren de pulsos de 16kHz, evitando que esta frecuencia audible interfiera constantemente la llamada.

2.10.4.2. Inversión de Polaridad

La inversión de polaridad en el Perú se usa de manera que la polaridad del par telefónico es invertida cuando se establece la llamada y vuelve a su polaridad normal cuando termina la llamada ([9] numeral 14.5, nota 2).

Se debe mencionar que en el Perú a la fecha las centrales usan sólo la inversión de polaridad (ver Resolución Ministerial 204-2005-MTC [14], artículo 7, inciso d), y que el uso del pulso de 16kHz no está reglamentado por el MTC. Este pulso se genera con un circuito agregado a los teléfonos analógicos (este circuito al detectar la voz del llamado envía el pulso montado en la señal telefónica).

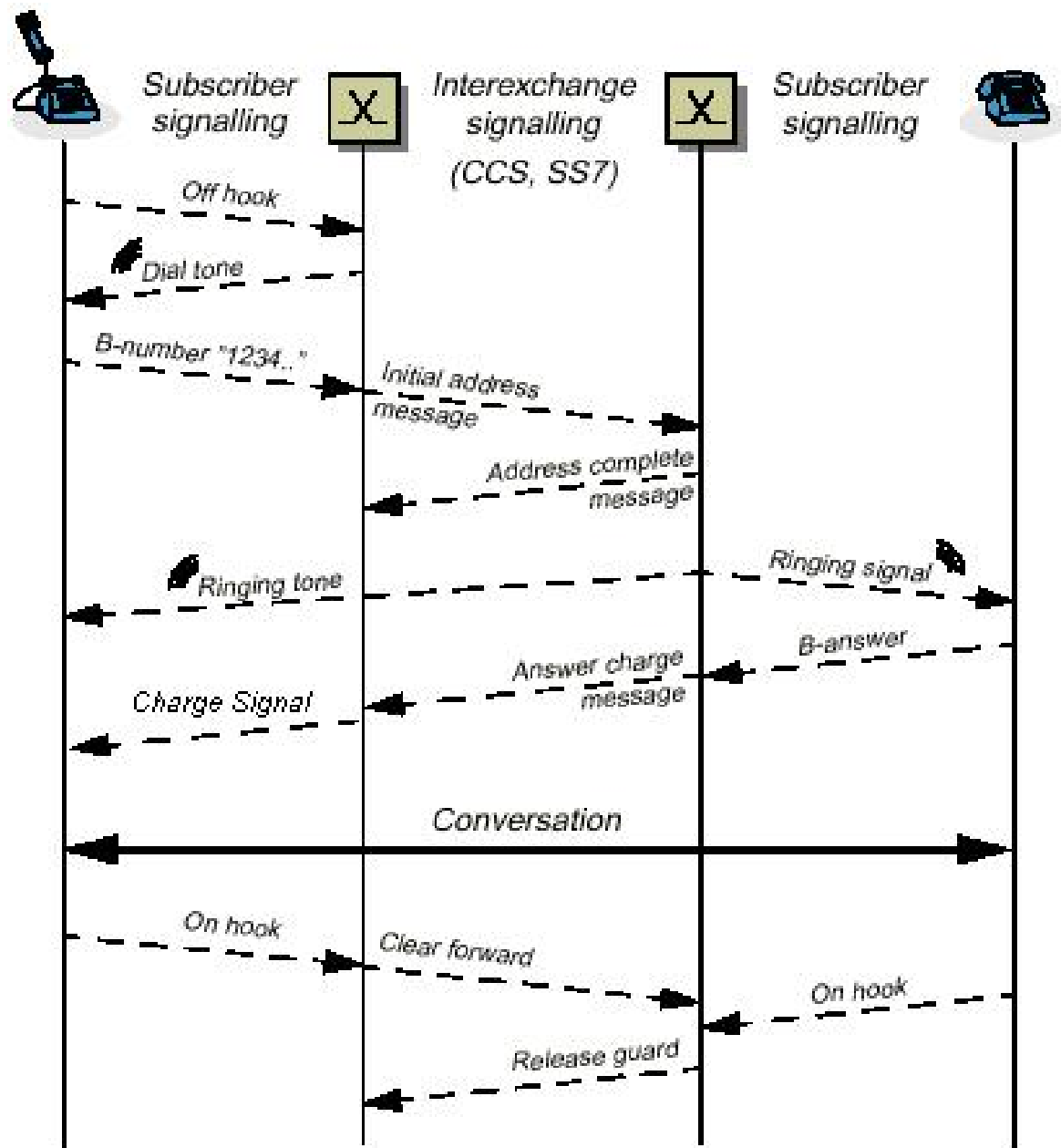


Fig.2.14 Resumen de la señalización en una llamada telefónica por la PSTN

2.11. Señalización en una llamada telefónica por la PSTN

En Fig.2.14 se muestra una llamada establecida en una línea analógica de la PSTN (con el abonado y la central llamante y el abonado y la central llamada) y se aprecian los pasos que debe cumplir una llamada:

- Descolgado o “Off-Hook” generado por el llamante (señal de estado).
- Tono de línea o “Dial Tone” proporcionada por la central del abonado llamante (señal de información).
- Número telefónico del llamado marcado por el llamante (señal de dirección).
- Señalización entre centrales (SS7), mensaje de dirección enviado por la central llamante y mensaje de respuesta de la central llamada.
- Tono de timbrado en el llamante y señal de timbrado en el llamado (señales de información).
- Descolgado o respuesta del llamado (señal de estado).
- Señalización entre centrales (SS7), mensaje de atención de llamada por parte de la central llamada, para informar del cobro de la llamada a la central llamante.
- Envío de la señal de tarifación (“Charge Signal”) por parte de la central llamante hacia el abonado llamante.
- Conversación entre abonados llamante y llamado.
- Colgado o “On-Hook” por parte del llamante (señal de estado).
- Señalización entre centrales (SS7), mensaje de culminación de llamada por parte de la central llamante (“Clear forward”).
- Colgado por parte del llamado (señal de estado).
- Señalización entre centrales (SS7), mensaje de liberación por parte de la central llamada (“Release Guard”) como respuesta al “Call Forward”.
- Retiro de la señal de tarifación por parte de la central llamante y fin de la conexión.

Lo que más nos debe interesar es como la señal de tarifación es enviada y retirada.

2.11.1. Envío de la señal de tarifación

La central del abonado llamante envía la señal de tarifación (ya sea el pulso de 16kHz o la inversión de polaridad) en el momento que la central del abonado llamado le informa que el abonado llamado contestó.

2.11.2. Retiro de la señal de tarifación

En el caso de usarse la inversión de polaridad, ocurren dos casos importantes donde la central llamante retira esta señal de tarifación:

- Cuando el abonado llamante cuelga (caso de Fig.2.7), la central llamante envía a la central llamada el mensaje “clear forward” y este a su vez devuelve el mensaje de liberación. Luego de esto la central llamante retira la inversión de polaridad y culmina la conexión.

- Cuando el abonado llamado cuelga, la central llamada envía un mensaje de culminación (“Clear Back”) hacia la central llamante. Esta última comienza un tiempo de supervisión de 60 segundos (puede variarse) permitiendo que el abonado llamado descuelgue. Si el tiempo de supervisión expira se culmina la conexión (se retira la inversión). Y si dentro de ese tiempo de supervisión el abonado llamado aún no descuelga y el abonado llamante cuelga, se culmina inmediatamente la conexión (se retira la inversión de polaridad).

Cuando se usa el pulso de 16kHz en el Perú de la manera mencionada en 2.10.4.1, ya no se esperaría el retiro de la señal de tarifación, pues el pulso duro un pequeño lapso sólo en el comienzo de la llamada. En este caso se espera el colgado del abonado llamante como indicador que concluyó la conexión.

Notar que, de la manera que usaremos estas señales de tarifación, la duración de una llamada medida por inversión de polaridad será más exacta ya que involucra la conversación entre centrales en la culminación de la llamada.

2.12. Uso del tarifador

Como se dijo en 2.9, el tarifador se posicionará en el lado del abonado lo que facilitará el diseño del mismo. Ya que las redes de VoIP pueden emular el lado del abonado de una PSTN sólo nos basta diseñar el tarifador según la señalización analógica de abonado expuesta en 2.10.

En la Fig.2.15 se aprecia como se conectaría el tarifador al lado del abonado, de tal manera que pueda sentir la señalización de abonado y tener control sobre el teléfono.

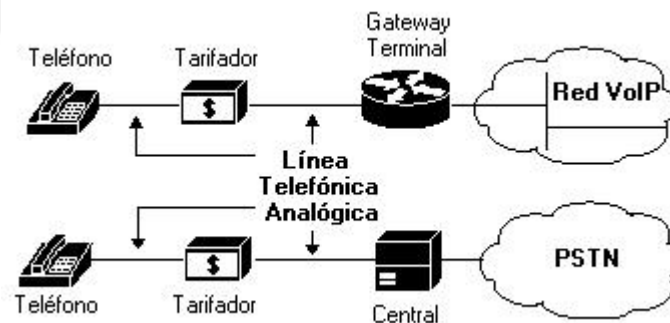


Fig.2.15 Conexión del tarifador a una red de telefonía

Los datos que el tarifador debe rescatar de la señalización son aquellos que le permita la tarifación de la llamada. La tarifación se realizará dependiendo de la duración de la llamada y del destino de la misma. La explicación a continuación:

- El destino de la llamada influye en el costo de la misma porque se considera un mayor esfuerzo por parte de la red para completar una llamada internacional que una llamada nacional o local. También cada proveedor de telefonía (sea fija, móvil, rural, satelital, etc.) asigna un costo conveniente a la terminación dentro de su red.

- La duración de una llamada ha sido siempre la unidad de medida de la misma y por tal es el primer parámetro para medir su costo.

Además de estos parámetros existen otros que según el proveedor del servicio puede aplicarlos en la tarificación, como por ejemplo:

- La hora de inicio de la llamada
- El día de inicio de la llamada
- Una duración mínima
- El número del abonado llamante (origen de la llamada), etc.

Pero para nuestro caso no consideraremos estos últimos ya que no son indispensables para la tarificación y podemos dejarlos para una futura actualización del proyecto.

El tarifador no sólo servirá para saber cuanto cobrar al cliente luego de realizar su llamada por un locutorio público (post-pago), sino también mostrará al cliente en tiempo real el costo de la llamada que está realizando. Además el administrador del locutorio podrá conciliar su tráfico de llamadas con el proveedor de telefonía. Este tráfico de llamadas se presenta en forma de un reporte detallado conteniendo todas las llamadas que realizó una línea o conjunto de ellas. Suele llamarse CDR (Call Detail Record).

Un CDR puede contener varios campos tales como [15]:

- Numero del abonado llamante
- Numero del abonado llamado
- Fecha de inicio de la llamada en DD/MM/AA
- Fecha de finalización de la llamada en DD/MM/AA
- Hora de inicio de la llamada en HH:MM:SS
- Hora de finalización de la llamada en HH:MM:SS
- Abonado que finalizó la llamada
- Razón por la cual se finalizó la llamada
- Duración de la llamada

Como dato extra mencionamos que el administrador de la red VoIP puede obtener los CDR's ya sea en el servidor proxy (red SIP), en el gatekeeper (red H.323) o en la interconexión con la PSTN (entre el gateway y la PSTN donde se usa SS7) utilizando el canal de señalización del E1.

Por lo dicho anteriormente el tarifador deberá poder almacenar el registro de llamadas y luego presentárselo al usuario o administrador. El registro del tarifador será un extracto del CDR mencionado arriba añadiéndole el costo aplicado a la llamada.

2.13. Objetivos del proyecto

Definimos los alcances del diseño que responden a las necesidades económicas y técnicas del país:

- El diseño deberá responder a la señalización de las líneas analógicas de las centrales telefónicas nacionales. Recordemos que podemos usar gateways terminales para la interconexión con una red de voz sobre el protocolo de Internet (VoIP).
- El diseño deberá mostrar en tiempo real los eventos de una llamada telefónica (colgados, descolgado, marcación y establecimiento de llamada) así como el tiempo de duración de la misma y un costo asociado a ella. Tanto el operador como el usuario del locutorio podrán acceder a esta información.
- El costo de una llamada se asignará según dos parámetros: el número marcado y la duración de la llamada. El diseño mostrará la sumatoria de costos de las llamadas en un periodo dado.
- El diseño podrá ejercer un control sobre la línea telefónica (como habilitación y deshabilitación de la línea telefónica administrada).
- El diseño almacenará tablas para identificar los números marcados y bloqueará los números que no pertenezcan a esas tablas. Las tablas podrán ser editadas por el operador.
- El diseño podrá almacenar las llamadas telefónicas establecidas y descargarlas a una computadora personal.
- Se buscará utilizar la mínima cantidad posible de componentes para alcanzar un costo económico y consumo de energía eficiente.

3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL EQUIPO

3.1. GENERALIDADES

Según los objetivos planteados se buscará un método de desarrollo simple y efectivo. Recordemos que buscamos un producto final comerciable y debe estar apto para todas las situaciones posibles a las que se le pueda someter, lo que conlleva a una prueba exhaustiva una vez finalizado un prototipo.

Por tales razones el uso de un control digital disponible en nuestro medio resulta una solución confiable y escalable. Así como el método de simulación por computador para el diseño analógico y el método de prueba y error para perfeccionar el prototipo resultan ser eficientes.

El tarifador estará dividido en las siguientes partes (ver Fig.3.1):

- El módulo operador, mostrará la información al operador del locutorio, aquel que cobrará por la llamada.
- El módulo remoto, el cual presentará la información al usuario del tarifador. Entiéndase por usuario a aquella persona que realiza la llamada.
- El módulo de transmisión, se encargara de conectar el módulo remoto y el módulo operador.
- El módulo interfaz serial, para comunicarse con la computadora personal.
- El módulo de Alimentación, proporcionará energía a todos los módulos.

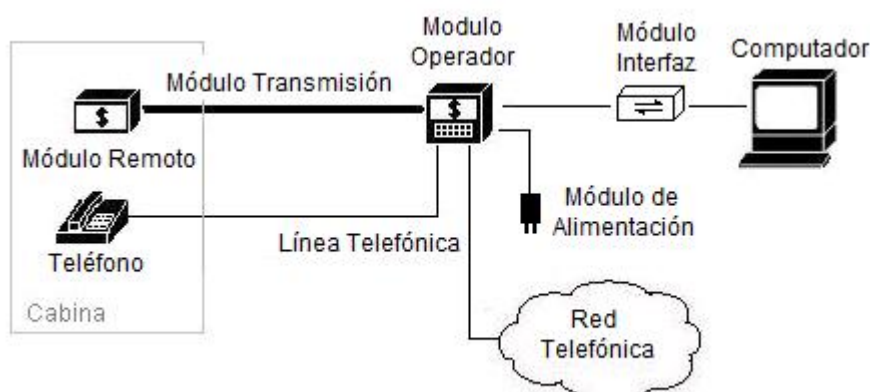


Fig.3.1 Partes del tarifador

3.2. MÓDULO OPERADOR

El módulo operador está formado por las siguientes etapas:

- **Reconocimiento de la Señalización Telefónica:**

Revisando el primer punto en los objetivos del proyecto nuestro tarifador deberá reconocer las señales telefónicas vistas en 2.10, por tal motivo se define esta etapa como el diseño de un circuito analógico y/o digital capaz del reconocimiento de la señalización mencionada. Se conforma por comparadores de voltaje, un detector DTMF y un detector de 16kHz.

- **Control:**

Como se mencionó anteriormente se usará un microcontrolador tanto para detectar los eventos de una llamada telefónica como para el control de la misma. Además tendrá una interfaz de usuario de entrada para poder ser programado, y una de salida para visualizar los eventos de una llamada, formados respectivamente por un teclado y una pantalla de cristal líquido.

- **Administración de llamadas y tablas tarifarias:**

Siguiendo los objetivos del proyecto esta etapa se encargará de hacer un listado de las llamadas realizadas, calcular la suma del costo de varias llamadas, aplicar un método de discriminación para asignar un costo a una llamada utilizando tablas tarifarias, bloquear las llamadas cuyos números no estén incluidos en estas tablas tarifarias y la edición de las mismas. Esta etapa puede incluirse dentro de la etapa de control pues sólo está comprendida por software.

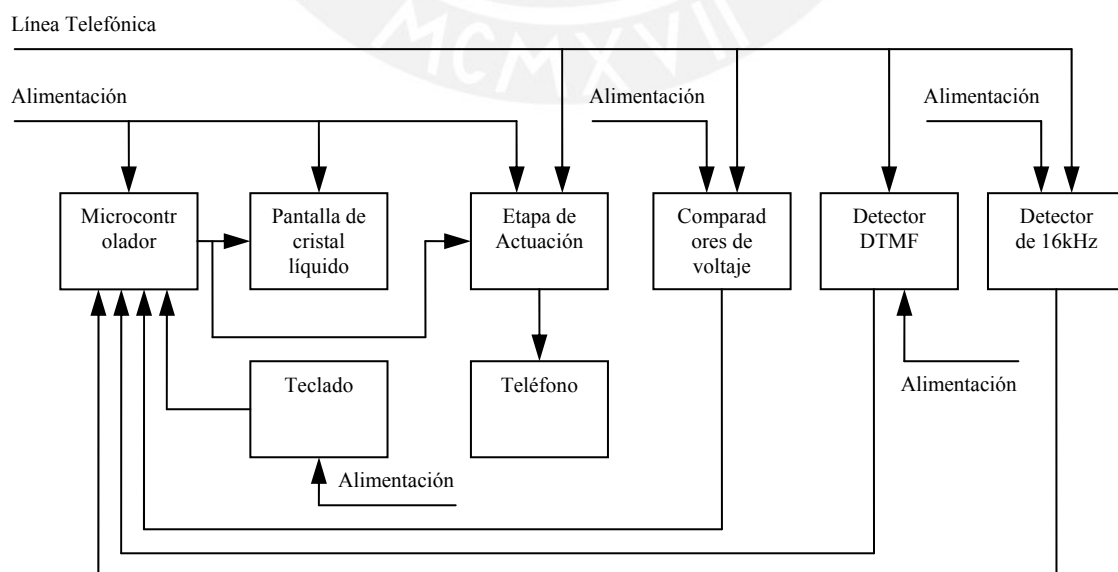


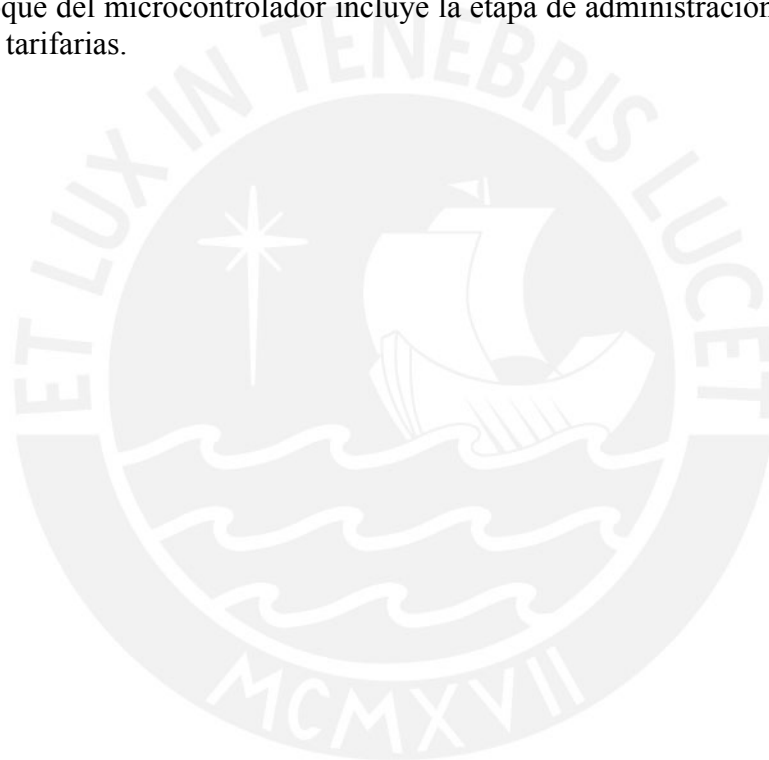
Fig.3.2 Diagrama de Bloques del Módulo Operador

- **Actuación sobre la Línea Telefónica:**

Según lo procesado por la etapa de control se ordenará a esta etapa habilitar o deshabilitar la línea telefónica que alimenta el teléfono.

Así en Fig.3.2 apreciamos el diagrama de bloques del módulo operador, donde se aprecia cada una de las etapas antes mencionadas. Ver las notas referentes a este diagrama:

- La etapa de control está representada por los bloques: “Microcontrolador”, “Pantalla de Cristal Líquido” y “Teclado”.
- La etapa de reconocimiento está representada por los bloques: “Comparadores de Voltaje”, “Detector DTMF” y “Detector de 16kHz”.
- El bloque del microcontrolador incluye la etapa de administración de llamadas y tablas tarifarias.



3.2.1. ETAPA DE RECONOCIMIENTO DE LA SEÑALIZACIÓN TELEFÓNICA

- Como se vio en 2.10.1 el colgado y descolgado depende de la impedancia en la línea telefónica, en otras palabras podemos ver un aumento o disminución de corriente como de voltaje en la señal telefónica (rango de colgado: 38-72Vdc). Por razones de simplicidad nos avocaremos a medir el voltaje de la línea telefónica para diferenciar las señales de estado. Un valor promedio del voltaje de colgado es 48.5Vdc y de descolgado es de 8.4Vdc. Entonces, bastará con un comparador de voltaje.
- Para el comparador de voltaje se debe tener un filtro pasa bajos ya que existen otras señales de frecuencias mayores a 25Hz (2.10.3) que viajan por el par telefónico (ver [37]). Bastará con un filtro pasivo.
- Para la detección de las señales de dirección (2.10.2) se usará un circuito integrado capaz de recibir las ondas que conforman el DTMF y nos entregará un número digital único.
- Para las señales de tarificación se considerará las señales de inversión de polaridad y pulso de 16kHz, como se mencionó en 2.10.4. Para esto será suficiente otro comparador de voltaje y de un filtro específico para los 16kHz.

3.2.1.1. Diseño de los comparadores de voltaje

Ya que no debemos hacer efecto de carga en la línea y debemos comparar sólo dos niveles de voltaje en un primer momento, el uso de un Amplificador Operacional (OPAM) conectado a la línea telefónica es una solución efectiva, práctica, disponible y de bajo costo en el mercado nacional. Otras posibles soluciones aíslan la línea telefónica del circuito a diseñar y hacen uso de los cambios bruscos del voltaje y de la corriente de la línea telefónica para detectar las señales de estado (transformadores, opto-aisladores, etc). El hecho de no separar la línea telefónica del tarifador es una decisión muy importante que se comprobará como efectiva en el transcurso del diseño.

El OPAM se usará en lazo abierto como comparador, en una de sus entradas estará un nivel de voltaje continuo e invariable en el tiempo llamado “Nivel de Referencia”, en la otra entrada estará el nivel de voltaje a sensor y lo llamaremos “Nivel Desconocido”. El OPAM nos dirá si el “Nivel Desconocido” es mayor o menor al “Nivel de Referencia”.

Para esto el “Nivel de Referencia” resultará del voltaje de alimentación. Y nos adelantaremos mencionando que usaremos 5Vdc y -7Vdc como alimentación del OPAM.

Pero ahora veremos cuantas comparaciones necesitaremos: una para la identificación de Colgado - Descolgado y otra para la Inversión de Polaridad de la línea telefónica. Entonces necesitaremos dos Amplificadores Operacionales (OPAM) o un circuito integrado disponible en el mercado peruano que posea dos Amplificadores Operacionales internamente.

3.2.1.1.1. Comparador de estado Colgado – Descolgado

Existen varios circuitos integrados de dos Amplificadores Operacionales de bajo consumo como vemos en la tabla 3.1:

Modelo	LM358N	MC1458	TL022CP
Opams	2	2	2
Accesibilidad	Local	Extranjero	Extranjero
Vdif	32V	30V	30V
Costo	S/. 1.5	S/.1.5	S/.3.2

Cdr.3.1 Comparación de varios Circuitos Integrados con OPAM's

Elegimos el OPAM LM358 por su disponibilidad en el mercado peruano (véase hoja de datos [16]).

Debemos elegir los potenciales de alimentación del OPAM y como ya mencionamos usaremos $V_{cc} = 5V_{dc}$ y $GND = -7V_{dc}$, porque el OPAM al ser alimentado positiva y negativamente dará una mejor respuesta a la comparación, ya que la salida del comparador será V_{cc} o GND , y existe una diferencia más notoria entre voltajes de polaridad distinta a los de la misma polaridad. Notamos que se cumple el requerimiento visto en [16], página 2:

$$V_{cc} - GND = 12 \leq +32VDC$$

For.3.1

Además para el comparador de Inversión de Polaridad usaremos voltajes negativos como entrada del OPAM y viendo en [16], página 2, el OPAM LM358 sólo admite como mínimo en su entrada $V_i = -0.3V_{dc}$. Esto no será problema si usamos la alimentación negativa mencionada.

Así, si el OPAM LM358 admite en su entrada un rango máximo de:

$$-0.3VDC \leq V_i - GND \leq +12VDC$$

Ahora admitirá:

$$\begin{aligned} -0.3VDC &\leq V_i - (-7VDC) \leq +12VDC \\ -7.3VDC &\leq V_i \leq +5VDC \end{aligned}$$

For.3.2

Como apreciamos el valor de GND controla el valor del voltaje negativo que podemos introducir a la entrada del OPAM.

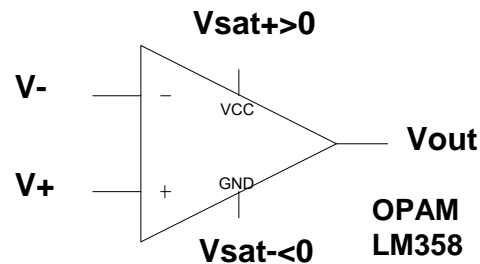


Fig.3.3 Esquemático de un Amplificador Operacional del LM358

Los voltajes de entrada $V+$ y $V-$ deben estar en el rango permitido del OPAM (ver For.3.2). Por lo que no podremos usar el voltaje de la línea telefónica (48.5Vdc) como entrada del OPAM, entonces se usará un divisor de voltaje y bastará del tipo resistivo por la alta impedancia de entrada del OPAM.

El divisor resistivo (Fig.3.4) debe consumir la mínima corriente posible (para evitar conflictos en la línea telefónica) y debe reducir la amplitud de la línea telefónica a un valor permitido por el OPAM LM358. Ya que el divisor resistivo es lineal buscaremos un factor de reducción de la señal telefónica conforme al OPAM LM358. Este factor de reducción depende de los valores de las resistencias que forman el divisor resistivo que mostramos a continuación:

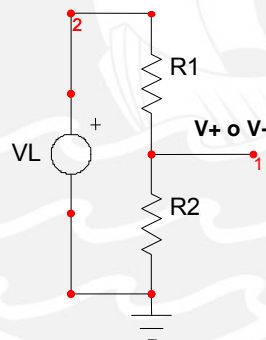


Fig.3.4 Divisor resistivo con el voltaje de línea telefónica como entrada

Como se aprecia en Fig.3.4, el voltaje en el nodo 1 es $V1 = VL \times R2 / (R1 + R2)$ (donde VL es la señal telefónica) y será una señal de entrada ($V+$ o $V-$) para el OPAM (ver Fig.3.2), el factor de reducción sería: $R2 / (R1 + R2)$. Buscaremos ahora un apropiado factor de reducción, ver Cdr.3.2.

Además debemos considerar que la señal telefónica puede decaer por muchas razones (longitud del par telefónico, cantidad de anexos, deterioro de la central, etc.) por eso definiremos un rango de valores de la señal telefónica en el cual el OPAM reconoce el colgado y otro el descolgado.

Todo esto nos dice que el factor de reducción puede ser 0.025 (ver Cdr.3.2). Entonces la señal de colgado en $V1$ debe ser superior a un nivel referencial y la señal de descolgado en $V1$ debe ser inferior al mismo, asumiendo que el nivel referencial es +0.95Vdc (por haber escogido el factor de 0.025) y recordando que $V1$ no debe superar los valores límites (For.3.2) podemos crear el cuadro Cdr.3.3.

Factor	Señal V1 (en nodo 1)	
	Colgado Máximo	Colgado Mínimo
1.000	72.00V	38.00V
0.100	7.20V	3.80V
0.025	1.80V	0.95V
0.010	0.72V	0.38V

Cdr.3.2 Generación del voltaje V1 según varios factores de reducción

Factor	VL como Colgado		VL como Descolgado	
	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo
0.025	200.00	38.00	37.99	-292.00

Cdr.3.3 Rangos del voltaje de la línea telefónica para los estados Colgado y Descolgado

El Cdr.3.3 nos muestra los máximos valores que el voltaje telefónico puede tener sin dañar el OPAM LM358 y los mínimos valores de la línea telefónica donde el OPAM reconoce el colgado y el descolgado.

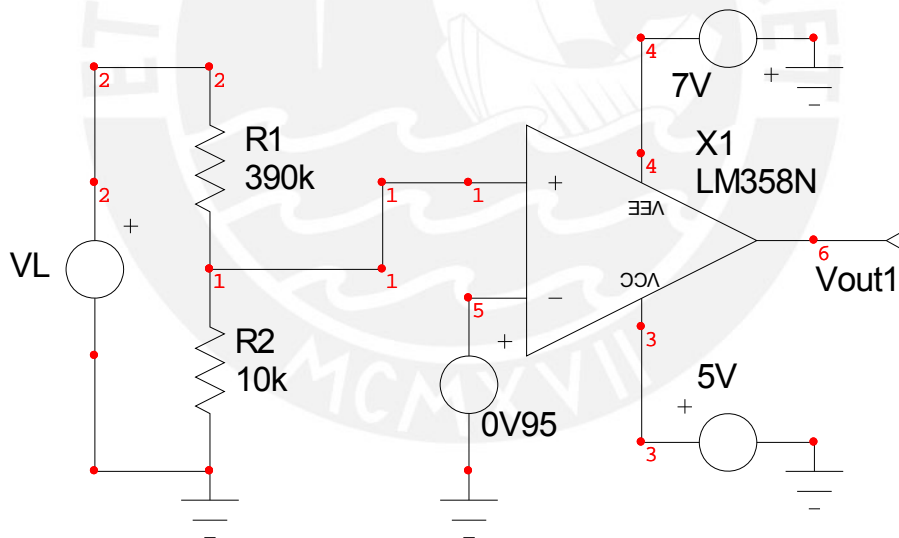


Fig.3.5 Primer diseño del comparador de Colgado - Descolgado

Según lo visto en 2.10.1 en las centrales telefónicas la línea telefónica se puede alimentar entre 38 y 72Vdc (sin considerar el voltaje alterno), pero el voltaje en el par telefónico será siempre menor. El valor exacto dependerá de la impedancia Rb de la figura 1 en [35], si se diera el caso de que el par tenga casi 72Vdc el voltaje V1 sería 1.8Vdc no superando el máximo permitido por el OPAM.

Así por el momento el circuito queda como se aprecia en Fig.3.5, donde el voltaje telefónico (VL) tiene un polo en contacto con 0V (símbolo de tierra) y el OPAM LM358 está alimentado con los potenciales -7V y 5V (estos tres potenciales los proporcionará la fuente de alimentación).

Además debemos lograr el factor de reducción de 0.025 en el nodo 1 de Fig.3.5, por tal se eligieron los siguientes valores comerciales: **R1=390K Ω** y **R2=10K Ω**

3.2.1.1.2. Comparador de Inversión de Polaridad

Al establecerse la llamada (ver 2.10.4.2) el teléfono estará descolgado y tendremos en la línea telefónica -8.2Vdc como valor típico. El comparador de inversión de polaridad debe detectar este valor y como vemos en Cdr.3.3 con el factor de 0.025 el LM358 podrá soportar un voltaje telefónico entre -292Vdc y 200Vdc, por tal usaremos este mismo divisor resistivo para el comparador de inversión de polaridad.

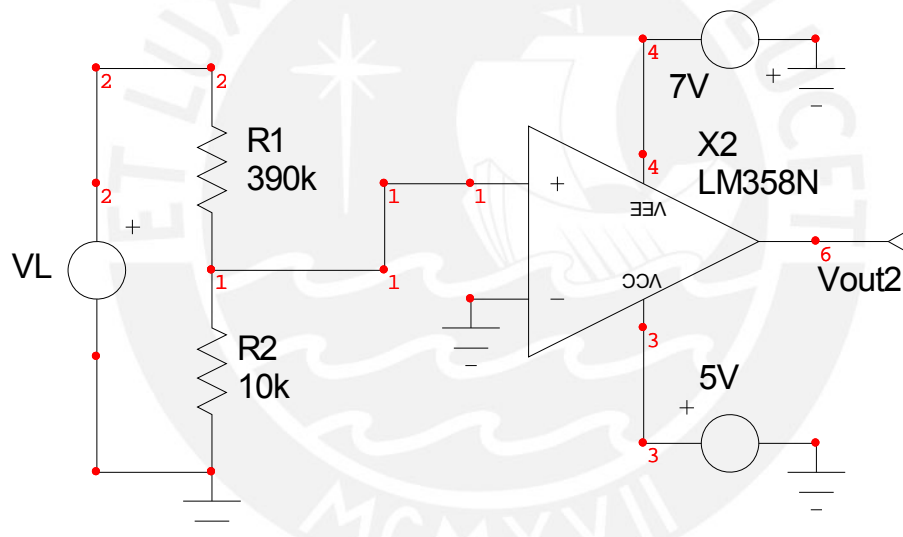


Fig.3.6 Primer diseño del comparado de Inversión de Polaridad

En Fig.3.6 apreciamos el comparador de inversión de polaridad X2 donde el nivel de referencia es 0V. Así si el voltaje del nodo 1 es positivo la salida del comparador será positiva y cuando el voltaje del nodo 1 sea negativo la salida del comparador también lo será. Además al establecerse la llamada (VL=-8.4V) en el nodo 1 habrá -0.21V y será menor al nivel de referencia (0V).

Para obtener el nivel de referencia del comparador de colgado – descolgado de Fig.3.5 se usará un divisor resistivo con los valores de **R3=3.9K Ω** y **R4=910 Ω** alimentado con la fuente de 5V. Haciendo esta conexión se logra el esquemático de Fig.3.7.

Se puede optar porque el comparador de inversión de polaridad (X2 en Fig.3.7) tenga 0Vdc como nivel de referencia, pero eso ocasionaría confusión cuando no esté presente el voltaje de la línea telefónica (VL), ya que el comparador en sus dos entradas tendrá 0V (zona lineal del OPAM).

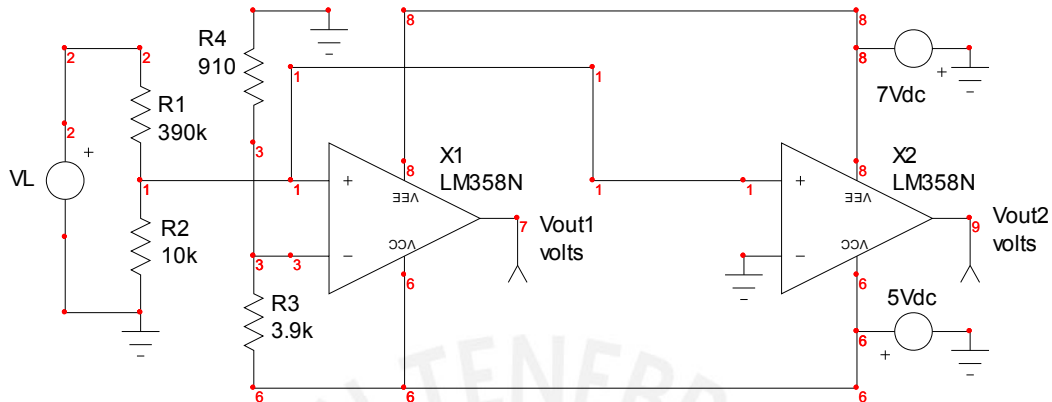


Fig.3.7 Comparadores de Colgado – Descolgado (X1) y de Inversión de Polaridad (X2) conectados

Por lo que modificaremos el diseño de Fig.3.7 colocando un nivel de referencia menor a 0V ya que al desconectarse la línea telefónica el comparador de inversión X2 entenderá que VL es positivo, o sea que no se ha establecido ninguna llamada.

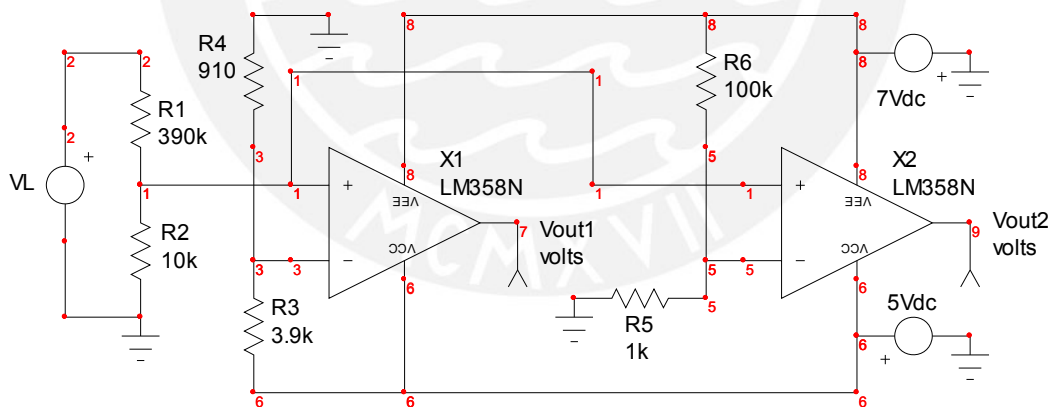


Fig.3.8 Diseño de los comparadores de voltaje con referencia menor a cero

Como comentamos antes al establecerse una llamada ($V_L = -8.4Vdc$) en el nodo 1 de Fig.3.8 habrá $-0.21Vdc$, por lo que el nivel de referencia de X2 debe ser mayor a este valor. Así elegimos los valores de $R_5 = 1k\Omega$ y $R_6 = 100k\Omega$ que proporcionarán $-0.0693Vdc$ como referencia para el comparador de inversión de polaridad (nodo 5 de X2).

Debemos considerar que en [16] se menciona que el OPAM LM358 admite un valor máximo de voltaje diferencial de entrada que es igual al máximo voltaje de alimentación ($|V_{id}| \leq 32V_{dc}$), y como los OPAMs los alimentamos con una diferencia de 12Vdc debemos cumplir For.3.3.

$$|V_{id}| = |V_+ - V_-| \leq 12V_{dc}$$

For.3.3

Entonces al simular el comportamiento del circuito de Fig.3.8 con los valores de voltaje en sus puntos críticos resulta el Cdr.3.4.

Voltaje Línea Telefónica (Vdc)	Comparador X1 (Colgado – Descolgado)				Comparador X2 (Inversión de Polaridad)			
	V+	V-	V+ - V-	Vout1	V+	V-	V+ - V-	Vout2
200	5.000	0.946	4.05	5	5.000	-0.069	5.07	5
48.5	1.213	0.946	0.27	5	1.213	-0.069	1.28	5
38	0.950	0.946	0.00	5	0.950	-0.069	1.02	5
8.4	0.210	0.946	-0.74	-7	0.210	-0.069	0.28	5
0	-	0.946	-0.95	-7	-	-0.069	0.07	5
-2.8	-0.070	0.946	-1.02	-7	-0.070	-0.069	-0.00	-7
-8.4	-0.210	0.946	-1.16	-7	-0.210	-0.069	-0.14	-7
-48.5	-1.213	0.946	-2.16	-7	-1.213	-0.069	-1.14	-7
-292	-7.300	0.946	-8.25	-7	-7.300	-0.069	-7.23	-7

Cdr.3.4 Cuadro de comportamiento de los comparadores de voltaje

Notas referentes al Cdr.3.4:

- Los comparadores soportan el máximo voltaje DC que se le puede aplicar en la línea telefónica ($\pm 72V_{dc}$) incluso hasta 200VDC.
- Para el voltaje de 72VDC en la línea telefónica el circuito consumirá 0.18mA de la línea que es menor al máximo permitido de 3mA.
- El rango de voltaje telefónico reconocido por el comparador X1 como colgado va de 38Vdc a 200Vdc, resultando $V_{out1}=5V$.
- El rango de voltaje telefónico reconocido por el comparador X1 como descolgado va de -292Vdc a 38Vdc, resultando $V_{out1}=-7V$.
- El rango de voltaje telefónico reconocido por el comparador X2 como positivo va de -2.8Vdc a 72Vdc, resultando $V_{out2}=5V$.
- El rango de voltaje telefónico reconocido por el comparador X2 como negativo va de -292Vdc a -2.8Vdc, resultando $V_{out2}=-7V$.
- Cuando el voltaje telefónico está entre -292Vdc y -2.8Vdc (incluye al valor de llamada establecida) resulta $V_{out1}=-7V$ y $V_{out2}=-7V$, o sea el comparador reconoce el estado descolgado y a la vez la Polaridad Negativa, esto se resolverá por software.

Por último convertiremos las salidas V_{out1} y V_{out2} a niveles TTL para el control digital. Bastará con colocar un transistor en corte y saturación en cada salida.

Modelo	2N3904	PN2222A	2N3906	BC327
Tipo	NPN	NPN	PNP	PNP
Accesibilidad	Local	Local	Local	Local
Costo	S/.0.20	S/.0.20	S/.0.20	S/.0.20

Cdr.3.5 Cuadro comparativo para la elección de transistores

Se eligieron los transistores BC327 [33] y PN2222A [19] porque soportan como V_{ce} hasta 45V y 40V respectivamente (ver Fig.3.10).

3.2.1.2. Comportamiento AC

Podríamos filtrar la línea telefónica para evitar que la señal telefónica AC se eleve a niveles dañinos para el OPAM LM358 lo que puede ocurrir por la misma señalización de la central o por armónicos montados en la señal telefónica.

Un filtro pasivo Pasa Bajos es el que mostramos a continuación:

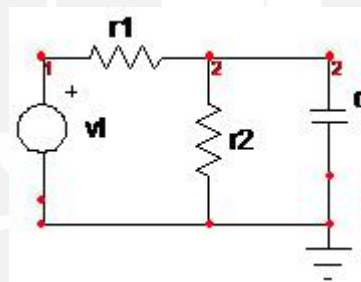


Fig.3.9 Filtro Pasa Bajos Pasivo

Por las leyes de Kirchhoff y según los capítulos 16 y 17.6 de [17] podemos expresar la siguiente ecuación:

$$f_c = 1 / 2\pi(Req)C.$$

For.3.4

Notemos que Req o “resistencia equivalente” es la que aprecia el condensador C cuando se eliminan las fuentes independientes.

Ahora en el diseño de los comparadores ya tenemos un arreglo de resistencias que colocamos en la señal telefónica, por lo que sólo bastaría definir C. Viendo Fig.3.8 sólo podemos colocar el condensador entre el nodo 1 y la masa para que el filtro afecte a ambos comparadores, así en el nodo 1 existe una resistencia equivalente de 9.75K.

En el mercado peruano conseguimos condensadores generalmente electrolíticos, cerámicos y/o de poliéster, pero la señal telefónica puede cambiar de polaridad por lo

que el condensador electrolítico queda descalificado. Los condensadores de poliéster son de una capacitancia más estable que los cerámicos, pero escasos en el mercado nacional. Su tamaño físico crece con su valor de capacitancia, un tamaño físico aceptable (2cm x 0.5cm x 1.5cm) tiene un valor de 1uF y soporta 100Vp.

Este valor según For.3.4 permite una frecuencia de corte de 79Hz, insuficiente para filtrar la señal de timbrado de 90Vrms a 25Hz (ver 2.10.3), por lo que deberíamos usar hasta cien condensadores en paralelo (o sea 100uF) y según For.3.4 obtendríamos una frecuencia de corte de 0.16Hz.

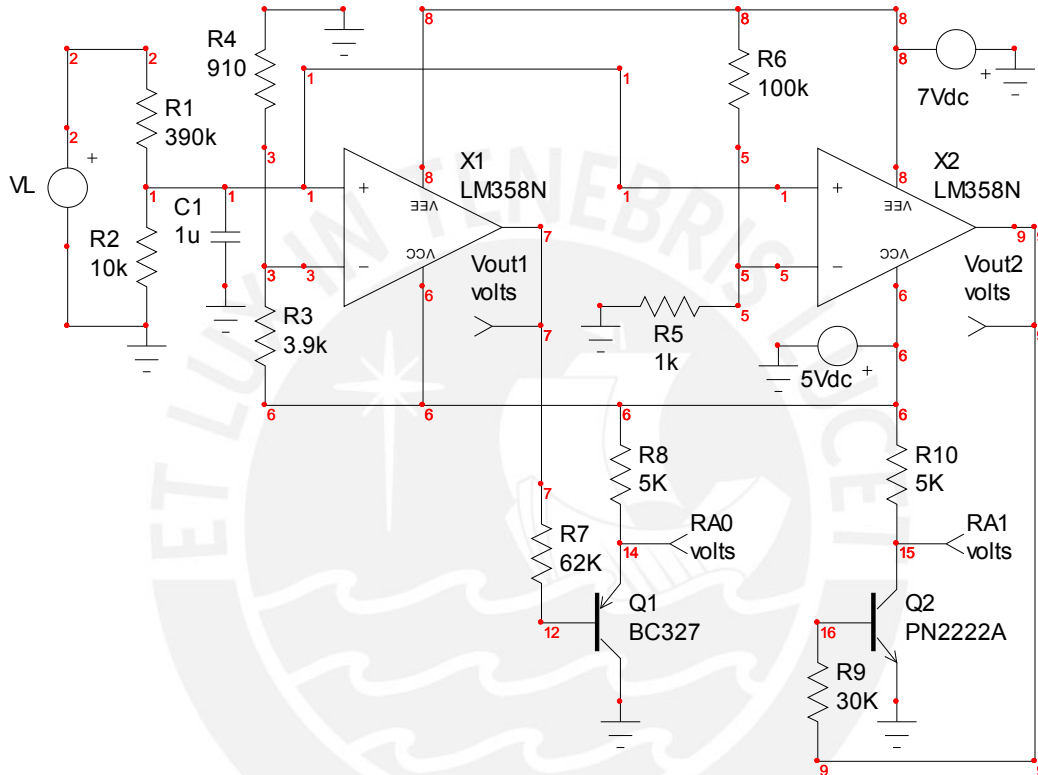


Fig.3.10 Esquemático del Circuito Comparador de Voltaje, hecho en SpiceNet ICAP/4 8.3.7

Esto es muy impráctico e innecesario pues los OPAMs no se dañarán ya que con la señal de timbrado se tendrá: $V_L = 72VDC + 90Vrms = 72VDC + 127.3Vp = 199.3Vp$ (ver Cdr.3.4).

Debemos mencionar que al presentarse la señal de timbrado las entradas de los comparadores oscilarán a razón de 25Hz, lo cual se analizará por software y se evitarán malas interpretaciones.

Para atenuar las señales DTMF (697Hz – 1633Hz) es suficiente la frecuencia de corte de 79Hz por lo que se colocará un condensador de poliéster de 1uF que soporte hasta 100Vp, entonces mostramos en Fig.3.10 el Circuito Final Comparador, graficado en una herramienta de ingeniería asistida por computadora conocida como SpiceNet ICAP/4 versión 8.3.7.

3.2.1.3. Características del diseño de los comparadores

- Los comparadores soportan los voltajes de alimentación de la línea telefónica (entre 38Vdc y 72Vdc visto en 2.10.1).
- La impedancia de entrada del circuito comparador es de 400k Ω y consume como máximo 0.18mA de la línea telefónica, cumpliendo lo dicho en 2.10.1 (resistencia de lazo mayor a 15k Ω y corriente de lazo menor a 3mA).
- Los tiempos críticos en que se debe reconocer el colgado o el descolgado se manejará por software.
- La salida de los comparadores están en niveles TTL para su conexión directa a la etapa de control.
- El circuito de comparadores consume de nuestra fuente a diseñar 4.06mA:
 - OPAM LM358 consume 2mA
 - Divisor R5 – R6 consume 0.05mA
 - Divisor R3 – R4 consume 0.01mA
 - Dos transistores de salida consumen 2mA

3.2.1.4. Diseño del detector DTMF

El circuito integrado encargado de decodificar los tonos DTMF lo escogeremos de Cdr.3.6.

Modelo	CM8870	CM8880	HT9170B
Decodificador	Si	Si	Si
Codificador	No	Si	No
Accesibilidad	Local	Extranjero	Extranjero
Costo	S/. 6	S/.18	S/.2.9

Cdr.3.6 Comparación de CI decodificadores DTMF

Usaremos el integrado CM8870 es su empaquetado DIP ya que puede alimentarse en niveles TTL y se puede comprar en Lima.

3.2.1.4.1. Descripción funcional del CM8870

Como vemos en [18] el CM8870 posee un filtro separador de banda, de las frecuencias altas y las frecuencias bajas que conforman el DTMF (ver [37]). Además tiene un decodificador digital que verifica el tono recibido y su duración antes de procesarlo a un número de 4 bits. Así podemos usar este número binario resultante para identificar el número marcado (podemos reconocer los 16 dígitos que se marquen en el teléfono). Mediante dos filtros pasa banda se logra separar los grupos de frecuencias

altas y bajas, las salidas de los filtros pasan por un circuito que limita la señal y un comparador para evitar las señales de baja amplitud y el ruido.

Luego las señales tratadas pasa al decodificador que mediante una técnica de cuenta digital reconoce la frecuencia del tono y si pertenece al estándar DTMF. Un complejo algoritmo de promedio es usado para evitar tonos falsos (como la voz) tolerando pequeñas variaciones de la frecuencia de los tonos. Cuando el detector reconoce la presencia simultánea de dos tonos válidos, se pone en alta la bandera EST y si ocurre una subsiguiente falla en la detección la bandera caerá.

Así se llega a la verificación de una duración válida de la señal de entrada, mediante la constante de tiempo de un circuito RC externo controlado por EST. EST en alta logra que el condensador se descargue en la resistencia y así GT se pone en alta. Pasada esta verificación la señal de salida STD se pone en alta y en las salidas de Q1 a Q4 se tiene el número binario correspondiente a la combinación de tonos reconocidos.

3.2.1.4.2. Conexión del CM8870

Usaremos la configuración mencionada en la página 3 de [18] (*Single-Ended Input Configuration*) donde se aprecia que un polo de la señal telefónica esta conectada a la tierra del CM8870 y el otro polo está conectado al extremo del condensador C2 de 0.1uF, ver Fig.3.11.

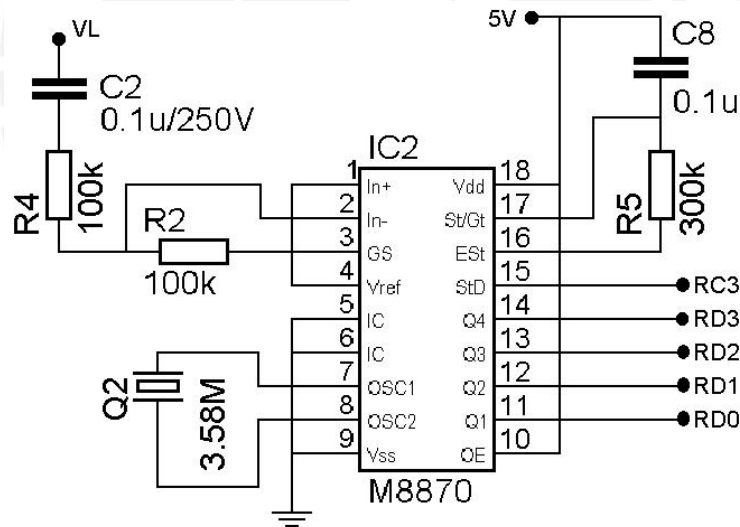


Fig.3.11 Esquemático del circuito detector DTMF

C2 en conjunto con las resistencias R4 y R2 de 100kΩ y el OPAM interno del CM8870 (pines IN-, GS e IN+) forman un filtro pasa altos con un buffer seguidor (ver Fig.3.11 y [18]).

Según [18] notamos que el voltaje de referencia (V_{ref}) es de 2.62V y que el pin Vref se cortocircuita con el pin IN+, entonces el pin IN- tendrá 2.62V. Analizando sólo la corriente continua, el condensador C2 soportará por un extremo el voltaje de la línea telefónica y por el otro los 2.62V. Esto quiere decir, que este condensador debe soportar hasta 200V.

3.2.1.4.3. Uso del CM8870

Como sabemos la salida STD del CM8870 se pone en alta al detectarse satisfactoriamente una combinación DTMF, por lo que la usaremos como señal de información hacia la “Etapa de Control”. Las salidas Q1 a Q4 serán el dato que indique a la “Etapa de Control” que tecla telefónica fue presionada.

3.2.1.4.4. Características del diseño del detector DTMF

- Se utilizará el detector DTMF CM8870 o uno compatible.
- Se utilizará la primera configuración “*Single-Ended Input Configuration*” que se aprecia en [18], página 3.
- Las resistencias utilizadas son de $\frac{1}{4}$ W.
- El condensador C2 de 1uF en Fig.3.11 será de poliéster y soportará 250V (valor comercial).
- El condensador C8 de 1uF que se conecta a la alimentación de 5Vdc será cerámico y deberá soportar 100V (valor comercial).

3.2.1.5. Diseño del detector del tren de pulsos de 16kHz

Usaremos un “Contador Digital de Pulsos” por lo que debemos convertir la señal sinusoidal de 16kHz montado en la DC de la línea telefónica en pulsos cuadrados de valores TTL.

Para esto necesitamos medir la señal de 16kHz que el circuito generador inyecta en la línea telefónica (2.10.4.2). Fig.3.12 es un gráfico realizado por un osciloscopio digital, muestra la señal de 16kHz producida por el circuito generador. El punto de censado es el pin GS del integrado CM8870 ya que en este punto la señal AC de 16kHz no es alterada.

En Fig.3.12 se aprecia también que la señal de 16kHz esta montada sobre una señal de 2.62Vdc (que corresponde al Vref del CM8870) y tiene una magnitud de 2.3Vpp.

Esta señal AC de 16kHz (Fig.3.12) se usará como excitación de un transistor en corte y saturación para obtener la buscada señal cuadrada TTL. Así que se diseñará un filtro pasa altos pasivo que excite directamente al transistor en corte y saturación. El transistor será el PN2222A ya usado anteriormente.

Para un transistor en corte - saturación se cumple las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} V_{ce} &= V_{cesat} \\ I_c &= I_b \times 10 \end{aligned}$$

For.3.5

- Viendo la gráfica V_{cesat} Vs. I_c en [19], para un consumo de $I_c=1mA$, resulta: $V_{cesat}=0.05V$.

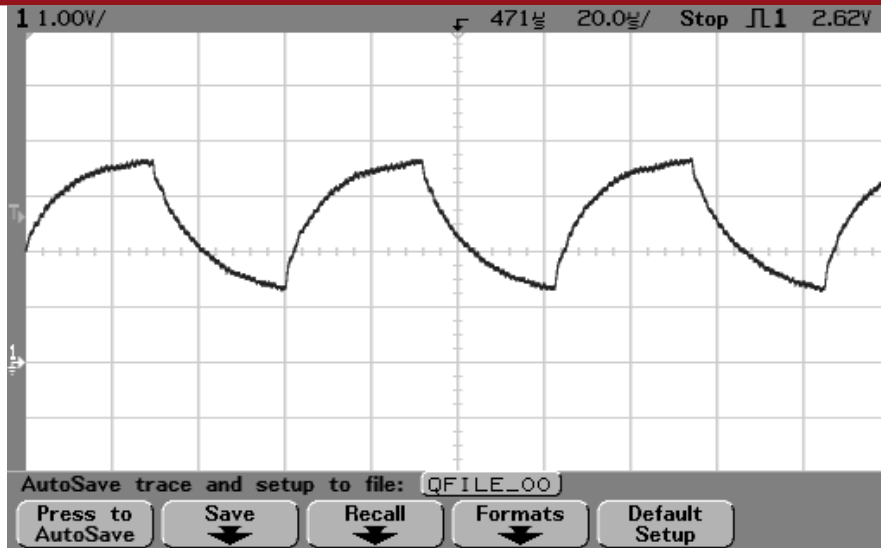


Fig.3.12 Señal sensada de 16kHz usada como señal de tarificación

- La alimentación será de 5V, por lo que la resistencia de colector debe ser $4.95k\Omega$.
- Como la magnitud de la onda AC de 16kHz es de $2.3V_{pp}$ su valor máximo será $+1.15V_p$ y el mínimo $-1.15V_p$.
- Viendo la gráfica V_{besat} Vs. I_c en [19] para $I_c=1mA$ y $25^\circ C$, resulta $V_{be}=0.65V$.

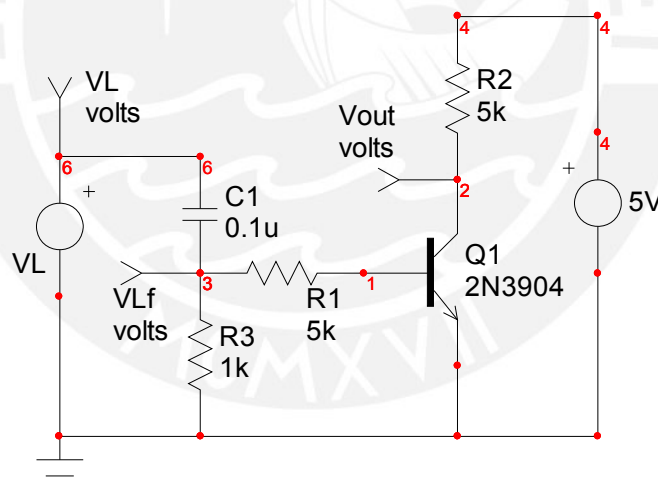


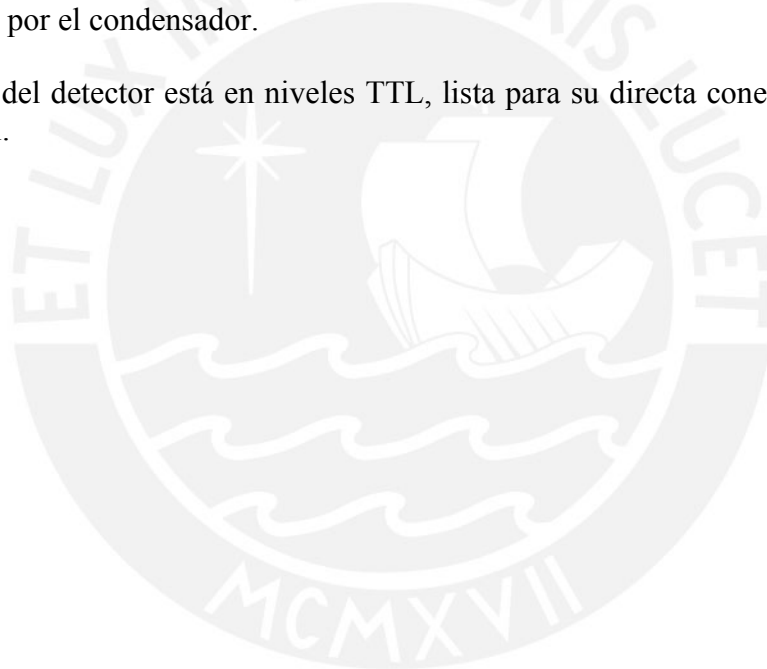
Fig.3.13 Circuito Detector de la señal de tarificación de 16kHz

Según Fig.3.13 el voltaje filtrado de la línea telefónica (VLf) se obtiene en el nodo 3 y esta señal excitará la resistencia de base R1. Esta señal excitadora tendrá como máximo $+1.15V_p$, y conocido $V_{be}=0.65V$ e $I_b=0.1mA$ podemos calcular la resistencia de base $R1=5K\Omega$.

Notemos que el filtro pasa altos está formado por C1, R3 y la resistencia equivalente paralela a R3. Para el cálculo de R3 se procederá a varias simulaciones del circuito de Fig.3.13 buscando una frecuencia de corte de 1kHz (menor a 16kHz).

3.2.1.5.1. Características del diseño del detector del tren de pulsos de 16kHz

- Tiene como frecuencia de corte 1.58kHz (según simulación) y ya que deja pasar una gran cantidad de frecuencias el rango se limitará por software a valores entre 15kHz y 17kHz. Pero la señal debe tener una amplitud mayor a 1.15Vp.
- La impedancia de entrada para corrientes DC gracias al condensador C1 será muy alta, teóricamente infinita. Para corrientes AC será de $1K\Omega$.
- Para un pulso de 2.3Vpp se consumirá menos de 1.15mA de corriente alterna. El circuito consumirá 1mA de corriente directa de la alimentación de 5V.
- El condensador C1 de 0.1uF (ver Fig.3.13) será de poliéster y soportará 250V (valor comercial) ya que en el peor de los casos el voltaje de colgado (72Vdc) más la señal de timbrado (90Vrms) sumarán hasta 199.3Vp, y casi todo este voltaje será soportado por el condensador.
- La salida del detector está en niveles TTL, lista para su directa conexión a la etapa de control.



3.2.2. ETAPA DE ACTUACIÓN SOBRE LA LÍNEA TELEFÓNICA

En este punto se debe considerar que el circuito presente en la línea telefónica no distorsione una llamada telefónica establecida. Además este circuito debe ser manejado digitalmente y debe poder finalizar una llamada establecida o evitar que se establezca cuando se le ordene.

La línea telefónica es un conductor y la central telefónica forma un circuito cerrado con el teléfono, en el caso de abrirse se terminaría la conexión. Esto se conoce como el estado de colgado, y según 2.10.1 la desconexión debe durar más de 370ms para ser considerada por la PSTN. Además la corriente de lazo debe ser menor a 3mA lo que se cumpliría si el circuito estuviese abierto. En esto nos basaremos para controlar la conexión de un teléfono, ahora debemos buscar un elemento eléctrico que pueda abrir y cerrar la línea cuando se desee.

Los elementos eléctricos comúnmente usados para este objetivo son el transistor y el relé. El transistor para que limite totalmente la corriente por su drenador o su colector (según el tipo de transistor) debe cumplir ciertas normas de polarización y no superar valores límites de voltaje y corriente, lo que dificulta su uso. En cambio el contacto de un relé es ideal para el cierre y apertura de un circuito eléctrico obteniéndose además algo esencial que es el aislamiento eléctrico. Recordemos que debemos tratar de no consumir potencia de la línea telefónica ni inyectarle potencia directa o indirectamente para mantener así el audio intacto.

La elección del relé electromagnético se reduce a elegir el voltaje de alimentación de su devanado (está implícito la corriente de consumo por ser dato la resistencia del devanado) y la corriente que soporta su contacto. Así buscaremos un relé que se alimente con 5Vdc conociendo que este tipo de relé es caro y escaso en el mercado nacional.

3.2.2.1. Elección del Relé

Se buscaron relés con las características mencionadas y se encontró los mostrados en el Cdr.3.7.

Modelo	G5V-1 5VDC	TQ2-5V	HJR-21FF-S-Z 6VDC
Voltaje Devanado	5Vdc	5Vdc	6Vdc
Resistencia Devanado	167 Ω	178 Ω	100 Ω
Costo	S/. 6.3	S/. 8.4	S/. 2.5
Accesibilidad	Extranjero	Extranjero	Local

Cdr.3.7 Comparación de relés para el diseño

Un modelo que no exagera su tamaño y su alimentación es el relé de marca TIANBO modelo HJR-21FF-S-Z de 6Vdc, de disponibilidad en el mercado nacional. El cual según [20] tiene las características mencionadas en Cdr.3.8 y Cdr.3.9.

Forma del Contacto	1 normalmente abierto y 1 normalmente cerrado
Máximo voltaje de conmutación	250Vac – 30Vdc
Máxima corriente de conmutación	15Amp
Resistencia máxima del contacto	100mΩ
Tiempo de liberación	5ms
Tiempo de operación	10ms
Vida esperada	100 000 operaciones a 30 operaciones / minuto

Cdr.3.8 Datos del contacto del relé HJR-21FF

Voltaje Nominal (VDC)	Resistencia del devanado (Ω)	Voltaje de operación (VDC)	Voltaje de liberación (VDC)	Máximo voltaje aplicable (VDC)
6	100	4.5	0.6	7.8

Cdr.3.9 Datos del devanado del relé HJR-21FF

Notas referentes al relé:

- Los valores máximos del contacto soportan la corriente y voltaje de timbrado (si el voltaje de colgado es 48.5Vdc, el voltaje de timbrado 90Vrms y la resistencia del teléfono 500Ω, entonces la corriente de timbrado resulta como máximo 352mA).
- El voltaje de operación es el voltaje al cual el devanado estará excitado y su valor oscila entre el 75% y 80% del voltaje nominal (dato obtenido de www.tianbo-relay.com).
- El voltaje de liberación es un valor que nos asegura que el devanado no estará excitado (dato obtenido del portal www.tianbo-relay.com).

3.2.2.2. Diseño del circuito actuador

Si aplicamos un voltaje de operación de 5Vdc el devanado consumirá 50mA, por lo que lo conectaremos a un transistor y así también podremos controlarlo digitalmente. El transistor elegido es el PN2222A (NPN) que soporta hasta 1000mA en su colector.

Según For.3.5 y [19] para una $I_c=49.2\text{mA}$ ($V_{besat}=0.76\text{V}$ y $V_{cesat}=0.08\text{V}$) la resistencia de base del transistor debe ser de 861Ω si queremos que el transistor se excite a una señal de control de 5Vdc. Pero al no encontrar comercialmente este valor se usará $1\text{k}\Omega$.

Un punto negativo en el devanado al ser alimentado bruscamente (por un pulso por ejemplo) es su elevación momentánea de voltaje debido a su inductancia. Recordemos que una inductancia produce un voltaje en contraposición a la dirección del aumento de su corriente, ya que su comportamiento se define por la For.3.6.

$$V = L (di/dt)$$

For.3.6

Para solucionar esto se puede compensar la impedancia del devanado con una capacitancia o limitar el pico del voltaje con un diodo.

Al usar la capacitancia se produce una caída muy lenta en el pulso de activación por lo que se retrasa la acción del relé. Lo que no ocurre al usar un diodo, por lo que se elegirá el diodo rápido 1N4148.

Entonces cuando se manda una señal cuadrada al circuito de Fig.3.14 (V_i pasa de 0V a 5V) comienza a aumentar la corriente por el devanado (representado por la inductancia $L1$ y la resistencia $R2$) desde el nodo 5 al nodo 4. Este aumento de corriente produce un aumento de voltaje en la inductancia ($V54$). En compensación disminuye levemente el voltaje V_{ce} del transistor.

El problema ocurre cuando se anula la excitación del devanado (V_i pasa de 5V a 0V). La corriente de colector disminuye y el voltaje de la inductancia ($V54$) se invierte y en compensación el voltaje V_{ce} del transistor aumenta. Este aumento puede llegar a valores tan altos que dañarían al transistor.

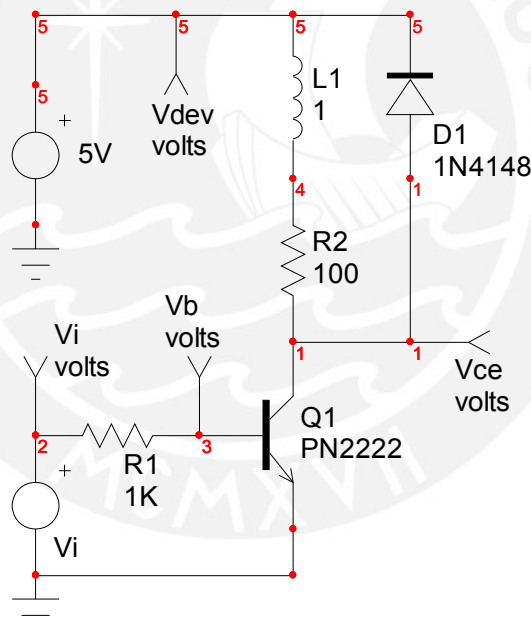


Fig.3.14 Esquemático para simulación del devanado del relé

Por esta razón el diodo tiene la orientación mostrada en Fig.3.14 que limita la disminución del voltaje del devanado ($V5I$) hasta $-V_{umbral}$ del diodo.

3.2.2.3. Características del diseño del circuito actuador

En Fig.3.15 se aprecia la conexión del circuito actuador a la línea telefónica. Notemos que se está usando un conector RJ11 por donde ingresa la línea telefónica (pin3) y sale hacia el teléfono a controlar (pin4).

Entonces para la conexión de la línea telefónica al circuito actuador (o que es lo mismo al tarifador) se debe respetar el orden de los pines del conector RJ11 (ver Fig.3.15).

- Pin 1 y 4 para la línea telefónica (pin 1 a la masa)
- Pin 2 y 3 para el teléfono (pin 2 a la masa)

De esta manera se logra:

- Que el teléfono no tendrá línea si el tarifador está apagado
- El teléfono siempre estará bajo la acción del relé y sólo cuando se accione el contacto del relé, K1 en Fig.3.15, el teléfono quedará alimentado de la línea telefónica.

Por último el circuito tiene las siguientes características:

- Existe sólo un incremento de 1V en el voltaje colector-emisor del transistor PN2222A.
- Un retardo de 10ms para la activación de la línea.
- Un retardo de 5ms para la desactivación de la línea.
- Excitación del devanado del relé a 4.9Vdc (aceptable según el Cdr.3.9).
- Consumo de 4.9mA de la “Etapa de Control”.
- Consumo de 49mA de la alimentación.
- Puede controlarse con niveles TTL, a 5Vdc se acciona el contacto y a 0VDC el contacto está en reposo.

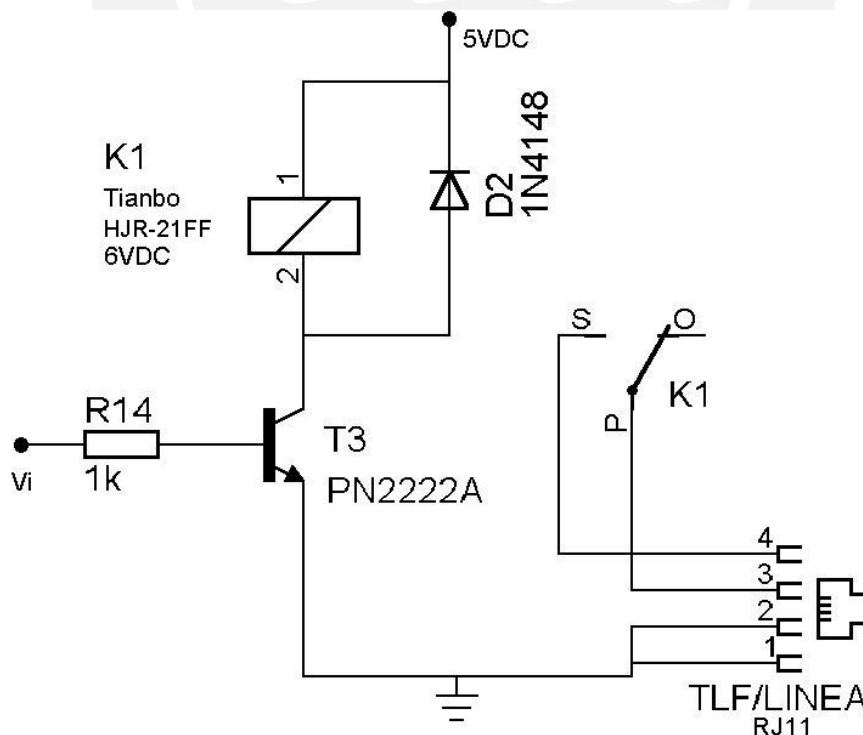


Fig.3.15 Esquemático del circuito actuador

3.2.3. ETAPA DE CONTROL

En esta etapa se tomarán los datos de una interfaz de usuario o aquellos que resulten de la “Etapa de Reconocimiento de la Señalización Telefónica”, se procesarán y se dará un resultado (órdenes de acción o muestra de los eventos de una llamada telefónica).

Para el ingreso de datos se usará un teclado matricial de 16 teclas disponible en el mercado cuyo funcionamiento se explica más adelante el cual requerirá 8 bits.

	Status	Budgetary Price	Memory Type	Bytes	Words	EEPROM Data Memory	RAM	I/O Pins	ADC	Comparators	OpAmps	Timers/ WDT	Interface	Max. Speed MHz	Packages	
PIC16C54	In Production	\$2.48	OTP	768	512x12	0	25	12	0	0	No	0-8bit		20	18/CERDIP	
												1-16bit			18/PDIP	
												1-WDT			18/SOIC	
															20/SSOP	
PIC16C54A	In Production	\$2.48	OTP	768	512x12	0	25	12	0	0	No	0-8bit		20	18/CERDIP	
												1-16bit			18/PDIP	
												1-WDT			18/SOIC	
															20/SSOP	
PIC16F54	In Production	\$1.25	Standard Flash	768	512x12	0	25	12	0	0	No	1-8bit		20	18/PDIP	
												0-16bit			18/PDIP300	
												1-WDT			18/SOIC	
															18/SOIC300	
			20/SSOP													
PIC16F873	In Production	\$4.33	Standard Flash	7168	4096x14	128	192	22	5/10-Bit	0	No	1-8bit	USART I ² C™ Compatible/SPI	20	28/PDIP	
												2-16bit			28/SOIC	
												1-WDT			28/SOIC300	
PIC16F874	In Production	\$4.97	Standard Flash	7168	4096x14	128	192	33	8/10-Bit	0	No	1-8bit	USART MFC Compatible/SPI	20	40/PDIP	
												2-16bit			44/MQFP	
												1-WDT			44/PLCC	
															44/TQFP	
PIC16F876	In Production	\$4.90	Standard Flash	14336	8192x14	256	368	22	5/10-Bit	0	No	2-8bit	USART MFC Compatible/SPI	20	28/PDIP	
												1-16bit			28/SOIC	
												1-WDT				
PIC16F877	In Production	\$5.11	Standard Flash	14336	8192x14	256	368	33	8/10-Bit	0	No	1-8bit	USART I ² C™ Compatible/SPI	20	40/PDIP	
												2-16bit			44/MQFP	
												1-WDT			44/PLCC	
															44/TQFP	
PIC16F877A	In Production	\$4.68	Standard Flash	14336	8192x14	256	368	33	8/10-Bit	2	No	2-8bit	AUSART MFC Compatible/SPI	20	40/PDIP	
												1-16bit			40/PDIP600	
												1-WDT			44/PLCC	
															44/QFN	
															44/TQFP	
																44/TQFP

Cdr.3.10 Comparativo de microcontroladores PIC16 (extraído de Microchip.com)

Para la muestra de eventos y datos se usarán dos pantallas LCD de 20x2 caracteres controlados por el circuito integrado HD44780, y como se ve en [21], éste requiere 3 bits de control y 4 bits de datos.

Para el procesamiento del flujo de datos se usará un microcontrolador ya que hoy en día es posible comprar uno en tiendas de suministros electrónicos nacionales a un precio aceptable (entre 15 a 55 Nuevos Soles).

Simplificaremos la búsqueda del microcontrolador al elegirlo entre los ofrecidos en el mercado nacional. En este momento la marca MICROCHIP está muy difundida especialmente por su línea de microcontroladores PICmicro y en el portal www.microchip.com podremos encontrar documentación útil de proyectos realizados con estos microcontroladores. De esta línea no consideraremos los microcontroladores de las familias PIC12 por tener muy pocos recursos y tampoco los PIC18 por ser muy escasos en Lima.

Como vemos en Cdr.3.10 el PIC16F877-20/P o su posterior versión el PIC16F877A tienen más memoria de programa (8192x14bits) y más bits de entrada salida (33) que el resto. En cuanto a la velocidad cada instrucción se realiza a 5MHz, frecuencia mucho más alta que las utilizadas en telefonía analógica, además la cantidad de contadores digitales (3) y su interfaz USART nos aseguran una posibilidad de escalamiento en el diseño.

Ambos microcontroladores cumplen algunos requerimientos de este proyecto como:

Características Generales:

- Operaciones lógicas y matemáticas (como resta, suma y posible multiplicación)
- Contador para cuenta de tiempo (duración de una llamada telefónica)
- Contador de pulsos externos (para el detector de 16kHz)
- Memoria de programa no volátil capaz de múltiples grabaciones

Características Eléctricas:

- Manejo en sus puertos de hasta 20mA
- Manejo de niveles TTL

3.2.3.1. Elección del PICmicro

Se utilizará el PIC16F877-20/P y para la compilación y simulación del programa se usará la herramienta MPLAB IDE v6.4, software proporcionado por Microchip (www.microchip.com).

El PIC elegido es un microcontrolador con un CPU tipo RISC, sólo tienen 35 instrucciones, usa un cristal externo de 20MHz pero su frecuencia de trabajo es de 5MHz. Tiene una memoria para el programa tipo FLASH EEPROM (8K x 14bits) y otras dos memorias para los datos tipo EEPROM (256 x 8bits) y RAM (368 x 8bits) cumpliendo la arquitectura Harvard. Un registro interno de operaciones, cinco puertos de entrada – salida, tres contadores, conversores análogo-digital y un puerto serie USART entre otros recursos (ver página 1 en [22]).

3.2.3.2. Configuración del CPU del PIC16F877

Los PICmicro usan una configuración general que controla las características especiales de su CPU (ver [22], página 121). Los bits de configuración se encuentran en la dirección 0x2007 de la memoria de programa y nos convendrá que tengan los siguientes valores:

- CP1 = 1 y CP0 = 1, desactiva la protección de código de la memoria de programa
- DEBUG = 1, desactiva el Debugger (pines RB6 y RB7 serán de entrada - salida)
- WRT = 1, habilita la escritura de la memoria de programa usando el control ECON.
- CPD = 1, desactiva la protección de código de la memoria EEPROM de datos
- LVP = 0, RB3 como pin de entrada - salida. Programación con alto voltaje
- BODEN = 1, habilitada el reinicio del programa en caídas de la alimentación
- PWRTE = 0, habilitada el circuito que mantiene en RESET al PICmicro hasta que su alimentación tenga un valor aceptable
- WDTE = 0, desactiva el Watchdog Timer
- FOSC1 = 1 y FOSC0 = 0, oscilador en modo HS (High Speed)

3.2.3.3. Configuración de los Periféricos del PIC16F877

- Puerto B de 8 bits con sus Pull Up's habilitados (4 bit como salida y el resto como entrada) para un teclado matricial de 4x4 teclas.
- Para las dos pantallas alfanuméricas de cristal líquido de 20x2 caracteres, se usará el Puerto D del bit 4 al 7 para los datos y el Puerto C del bit 4 al 6 para el control (todos estos bits como salida).
- Para los comparadores de voltaje se reservan los bits 0 y 1 del Puerto A.
- Para el control del relé se reserva el bit 2 del Puerto A.
- Para el decodificador DTMF se reservan los bits del 0 al 3 del Puerto D para el dato, y el bit 3 del Puerto C para la señal StD.
- Timer0: Se configura como contador con reloj externo para incrementarse con los pulsos del detector de 16 kHz (es de 8 bits).
- Timer1: Se configura como temporizador para generar interrupciones para el control del Relé y para la base de tiempo de la cuenta de pulsos del detector de 16 kHz (es de 16 bits e interrumpirá cada 0.0131072 segundos).
- Timer2: Como temporizador para generar interrupciones y contar el tiempo de duración de una llamada, se eligió este por ser capaz de temporizar a múltiplos de un mili segundo (Es de 8 bits e interrumpirá cada 0.001984 segundos, envés de los originales 2 mili segundos).
- USART (RC6/TX y RC7/RX) configurado a 9.6 kbps, modo asíncrono, 8 bits de datos y por defecto a 1 bit de parada y ninguna paridad. La recepción será continua y se activará una interrupción al recibirse un byte. La transmisión se controlará directamente manipulando su habilitador. No se usará control de flujo.

3.2.3.4. Diseño de las Interfaces Humanas

3.2.3.4.1. Interfaz para el teclado

El teclado matricial elegido será de 4x4 teclas de la marca GRAYHILL y modelo 86BB2-001, otras marcas compatibles son: ITT y STORM.

Como se aprecia en Fig.3.16 al presionar una tecla se unen dos terminales del teclado, por ejemplo, al presionar la tecla 5 se unen los terminales 2 y 6 del teclado. De esta manera se ahorra bits para la interfaz y sólo se necesitan 8 bits para 16 teclas.

Entonces se usará los terminales del 1 al 4 del teclado para enviar una señal de prueba y se usarán los terminales del 5 al 8 para recibir dicha señal. Para lo que se utilizarán los bits del 0 al 3 del Puerto B como salida y los bits del 4 al 7 como entrada (ver Fig.3.17). La señal de prueba es un Nivel Bajo en un pin de salida mientras que en los otros pines habrán Niveles Altos, este Nivel Bajo saltará de pin a pin entre los pines del 0 al 3 del Puerto B.

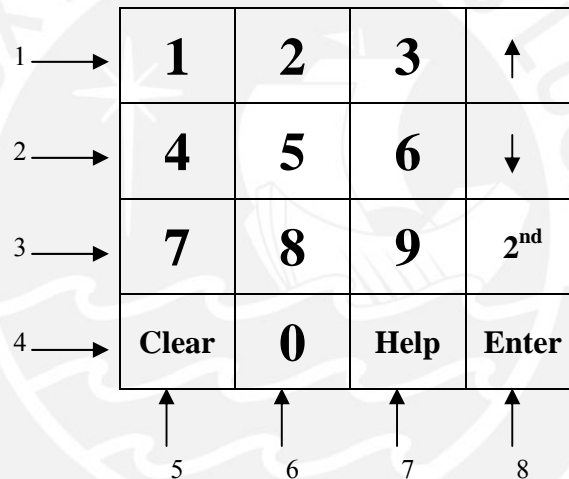


Fig.3.16 Esquemático del teclado matricial utilizado en el tarifador

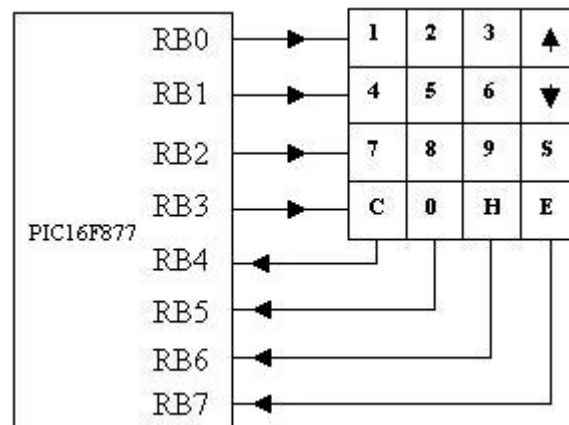


Fig.3.17 Interfaz para conectar el teclado matricial al PIC16F877

Y se identificará la tecla presionada al leer un Nivel Bajo entre los pines del 4 al 7 del Puerto B, ya que así lo permite la combinación de un bit en Nivel bajo en los pines de salida y uno respectivo en los pines de entrada (todos los demás están en alta). Pero para no leer alta impedancia es necesario que cada pin de entrada (del RB4 al RB7) tenga una resistencia hacia un Nivel Alto, así se aprovecharán los Pull Up's internos del Puerto B del PIC16F877.

Además el teclado suele venir con un noveno terminal que proviene de su chasis interno, el cual conectaremos a 0V para formar un aislamiento electromagnético.

3.2.3.4.2. Interfaz para la pantalla de cristal líquido a caracteres

Una pantalla de cristal líquido "LCD" nos permite más versatilidad que usar arreglos de LED's. Existen varios tipos de LCD como los gráficos y los de caracteres, pero se eligió usar un LCD a caracteres por ser más barato.

Una pantalla de cristal líquido [23] está conformado por dos planchas de vidrio transparente que protegen dos capas de electrodos transparentes y estos a su vez protegen una capa de un líquido especial. A este líquido se le llama "cristal líquido" y es una sustancia orgánica que tiene la estructura molecular como el cristal. Las moléculas del cristal líquido pueden ser controladas por un campo eléctrico, para esto se utilizan los electrodos del LCD haciendo girar las moléculas en un patrón ordenado a un mismo ángulo. Cuando no se aplica voltaje a los electrodos las moléculas de cristal líquido están en su ángulo por defecto y dejan pasar la luz a través de ellas. Finalmente la luz es reflejada por una capa reflectora en la base del LCD. Al aplicar un voltaje a los electrodos las moléculas del cristal líquido giran y bloquean la luz, así se apreciará una zona oscura en el vidrio del LCD. Un LCD a caracteres utiliza esas zonas oscuras como puntos de un carácter y así puede formar los distintos caracteres posibles (ver Fig.3.18).

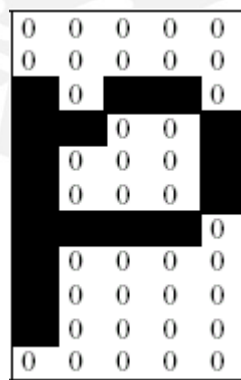


Fig.3.18 Matriz de 5x11 puntos que forma un carácter alfanumérico

Se dice que el LCD a caracteres es una tecnología pasiva por no emitir luz para formar los caracteres, pero en ambientes de mínima luz no podría ser utilizado. Para esto se aplica una luz trasera a los vidrios del LCD de manera que las zonas oscuras podrán ser detectadas en ambientes de poca luz natural. La luz trasera o BACKLIGHTING [23] se genera por LED's o por electroluminiscencia. La

electroluminiscencia es una tecnología más cara pero favorece al tamaño del LCD y al consumo de potencia. Ésta genera la luz aplicándole un voltaje alterno alto a un material electro luminiscente para lo cual usa un “controlador” que genera el AC.

Pero nosotros usaremos el BACKLIGHT a LED's y sólo lo usaremos en el lado del usuario ya que el LCD con BACKLIGHT es más caro que la versión normal.

La pantalla elegida será de 20x2 caracteres con formato de carácter de 5x8 marca TRULY GMBH y modelo MSC-C202DYSY-1N. Existen otras marcas compatibles como: AMPIRE, OPTREX y CLOVER.

Ahora debemos conocer como es el manejo del LCD a caracteres [21]. Un LCD a caracteres está formado por varias matrices de dos dimensiones donde cada matriz es un carácter (ver Fig.3.18). Un grupo de caracteres forman una fila en el LCD. Así los LCD se eligen por la cantidad de caracteres por fila, la cantidad de filas en total, la cantidad de puntos de cada matriz y por si poseen iluminación trasera o no.

La presentación de caracteres se manejan mediante un controlador, este circuito integrado controla las matrices de puntos de cristal líquido y esta programado para formar caracteres alfanuméricos conocidos. Así usando palabras ordenamos al controlador lo que queremos graficar y en que posición mostrarlo.

Los controladores son varios, de distintas marcas, manejan tamaños distintos de matrices y cantidades variadas de caracteres. Pero uno en particular se difundió mucho y en la actualidad los nuevos controladores son compatibles a este original. El HD44780 se basa en un bus paralelo por donde se le introduce palabras de instrucción y palabras de datos, asigna una dirección a cada carácter alfanumérico (posee memoria RAM), permite elegir entre dos modos de introducir los datos de entrada, posibilidad de cursor, es compatible con varios formatos de LCD, posee un habilitador y maneja niveles TTL.

PIN	SÍMBOLO	FUNCIÓN
1	Vss	Señal de referencia (0V)
2	Vdd	Señal de alimentación (5V)
3	Vee	Señal variable para el contraste
4	RS	En alta: Dato, en baja: Instrucción
5	R/W	En alta: Se lee, en baja: se escribe
6	E	Señal habilitadora cuando esta en alta
7	DB0	Bit 0 del dato
8	DB1	Bit 1 del dato
9	DB2	Bit 2 del dato
10	DB3	Bit 3 del dato
11	DB4	Bit 4 del dato
12	DB5	Bit 5 del dato
13	DB6	Bit 6 del dato
14	DB7	Bit 7 del dato
15	LED+	Voltaje positivo del LED Backlight
16	LED-	Voltaje negative del LED Backlight

Cdr.3.11 Distribución de pines del HD44780

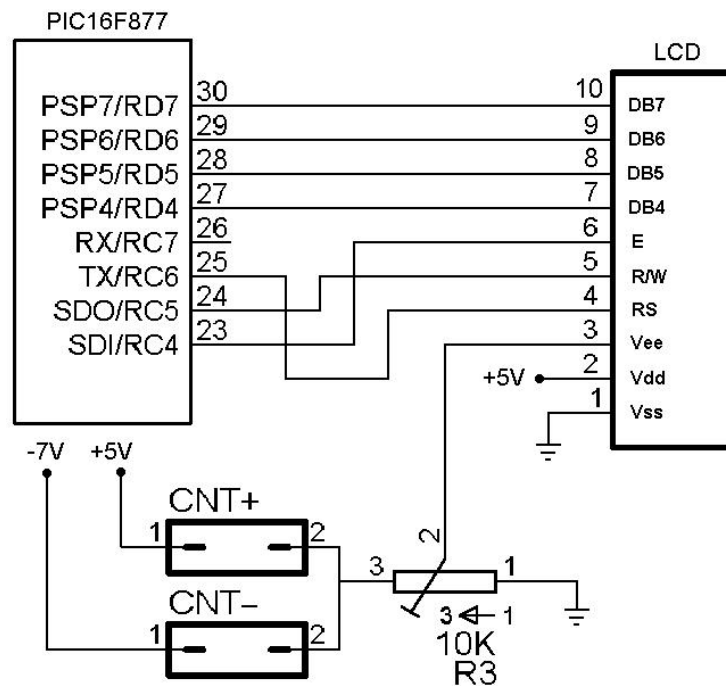


Fig.3.19 Interfaz para conectar el LCD del módulo operador al PIC16F877

Una palabra de instrucción se manda una sola vez (también cada vez que se inicialice el LCD) y ordena un tipo de funcionamiento preprogramado. Una palabra de dato afecta directamente la RAM para graficar un caracter sobre el LCD.

En Cdr.3.11 la señal *Vee* depende de la arquitectura física del LCD, puede ser una señal positiva o negativa respecto a la referencia *Vss*. Dato que debemos buscar en la hoja de datos del LCD y sirve para aumentar o disminuir el contraste de las zonas oscuras.

El HD44780 posee dos memorias volátiles, la DDRAM y la CGRAM. La primera es donde se almacena la palabra dato que indica que queremos graficar de la lista de caracteres alfanuméricos preprogramados. La CGRAM almacena el dato que da la información necesaria para generar un caracter que no este preprogramado.

Existen dos formas de introducir una palabra, una usando todos los 8 bits de datos y otra sólo la mitad. En caso de usar 4 bits de datos se debe mandar primero los cuatro más significativos y luego los cuatro menos significativos. Existen implementaciones de LCD en donde sólo se pueden usar 4 bits de datos y por tanto sólo tienen 10 pines (ver Fig.3.19).

Grabar un dato en la RAM toma un tiempo a veces considerable. La espera de que el proceso culmine se puede hacer de dos formas: leyendo el Busy Flag (DB7) o esperando un tiempo prudente para seguir con la secuencia de instrucciones (ver Cdr. 3.12). Nosotros asumiremos que para cualquier LCD la demora será menor a 3.6ms.

Instruction	Instruction Code										Description	Execution time (fosc=270Khz)
	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0		
Clear Display	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	Write "00H" to DDRAM and set DDRAM address to "00H" from AC	1.53ms
Return Home	0	0	0	0	0	0	0	0	1	—	Set DDRAM address to "00H" from AC and return cursor to its original position if shifted. The contents of DDRAM are not changed.	1.53ms
Entry Mode Set	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	SH	Assign cursor move direction and enable the shift of entire display.	39 μs
Display ON/OFF Control	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	Set display (D), cursor (C), and blinking of cursor (B) on/off control bit.	39 μs
Cursor or Display Shift	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	—	—	Set cursor moving and display shift control bit, and the direction, without changing of DDRAM data.	39 μs
Function Set	0	0	0	0	1	DL	N	F	—	—	Set interface data length (DL:8-bit/4-bit), numbers of display line (N:2-line/1-line)and, display font type (F:5×11 dots/5×8 dots)	39 μs
Set CGRAM Address	0	0	0	1	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0	Set CGRAM address in address counter.	39 μs
Set DDRAM Address	0	0	1	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0	Set DDRAM address in address counter.	39 μs
Read Busy Flag and Address	0	1	BF	AC6	AC5	AC4	AC3	AC2	AC1	AC0	Whether during internal operation or not can be known by reading BF. The contents of address counter can also be read.	0 μs
Write Data to RAM	1	0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Write data into internal RAM (DDRAM/CGRAM).	43 μs
Read Data from RAM	1	1	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	Read data from internal RAM (DDRAM/CGRAM).	43 μs

* "—" : don't care

Cdr.3.12 Juego de Instrucciones para el HD44780

El HD44780 tiene una tabla de instrucciones donde se indica el manejo de cada pin visto en Cdr.3.11 para mandar una instrucción o un dato (ver Cdr.3.12). Por ejemplo, para mostrar una letra en el LCD fijémonos en Cdr.3.12 en la fila "Write Data to RAM" debemos fijar los bits RS=1 y R/W=0 y en los bits RBx debemos fijar el código ASCII de la letra deseada. Pero antes de todo debimos inicializar el LCD según el diagrama de flujo visto en la página 16 de [21].

Entonces, la interfaz para la pantalla del módulo operador será como se muestra en Fig.3.19. Se utilizará el modo de 4bits para mandar palabras al LCD y la polaridad del contraste se podrá elegir manualmente mediante un JUMPER, así se podrá usar una variedad más grande de LCD's.

3.2.3.5. Distribución de la memoria del PIC16F877

El PIC16F877 como se menciona en 3.5.2 tiene tres tipos de memoria: FLASH EEPROM (para el programa), EEPROM y RAM (ambos para los datos). Donde la memoria de programa FLASH EEPROM la tiene dividida en 4 partes o páginas y la memoria de datos RAM también la tiene dividida en 4 partes o bancos, el motivo de

esta división es para mantener una compatibilidad con las versiones anteriores de microcontroladores con menos prestaciones.

Nosotros debemos reservar un espacio para el programa del tarifador, otro para las variables volátiles, otro para las variables no volátiles, otro para las tablas tarifarias y otro para almacenar las llamadas realizadas.

Por tal, se presenta la distribución escogida para este proyecto en Cdr.3.13 y Cdr.3.14.

Rango de direcciones	Palabras	Uso
0x0000 a 0x07FF	2K	Programa del tarifador
0x0800 a 0x0FFF	2K	Tablas tarifarias
0x1000 a 0x1EFF	3.75K	Para las llamadas realizadas
0x1F00 a 0x1FFF	256	Programa del tarifador

Cdr.3.13. Distribución de la FLASH EEPROM del PIC16F877

Como se ve en Cdr.3.13 se usará la memoria FLASH EEPROM para objetivos distintos para el que se fabricó (almacenar el programa principal). Esto es posible ya que el PIC16F877 puede grabar sobre esta memoria en tiempo de ejecución (ver capítulo 4.6 de [22]).

En Cdr.3.14 se aprecian distintas variables no volátiles necesarias para el programa. Para entenderlas debemos tomar en cuenta la administración de las tablas tarifarias (ver 3.6) y algunas características que tendrá el tarifador.

Rango de direcciones	Bytes	Variable
0x00 a 0x2F	48	Valores monetarios de las 16 tarifas
0x30 a 0x3F	16	Valores de las 16 unidades de tiempo
0x40 a 0x6F	48	Valores de los 16 recargos
0xF0 a 0xF6	7	Valor del ingreso total
0xFD	1	Tiempo mínimo que se factura
0xFE a 0xFF	2	Dirección de la última llamada almacenada

Cdr.3.14. Distribución de la EEPROM de datos del PIC16F877

Respecto a la RAM en el banco 0 se usará desde la dirección 0x20 hasta la 0x6F para variables volátiles de propósito general (página 13 de [22]). Igualmente en el banco 1 desde 0xA0 hasta 0xEF.

Debemos mencionar que el cambio de bancos se realiza mediante bits de control y a veces puede causar confusión, pero las variables volátiles desde 0x70 hasta 0x7F son accesibles independientemente de a que banco estemos apuntando, por eso lo usaremos para almacenar valores de algunos registros de función especial antes de entrar a una interrupción.

3.2.3.6. Diagrama de Flujo del Programa Principal

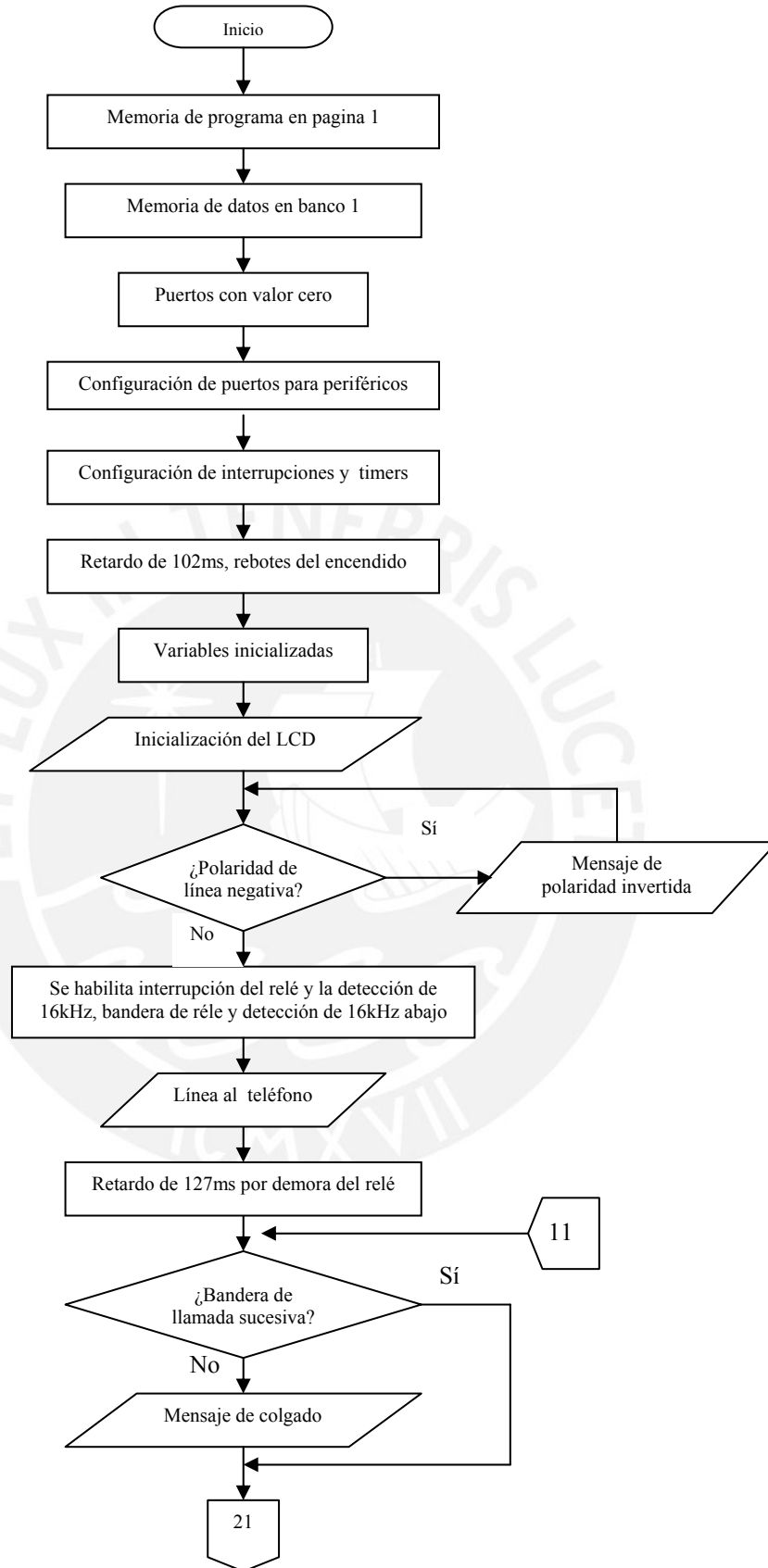
El programa será escrito en lenguaje ensamblador del PICmicro (ver juego de instrucciones en capítulo 13 de [22]) y como se mencionó se utilizará el entorno de desarrollo MPLAB v6.4.

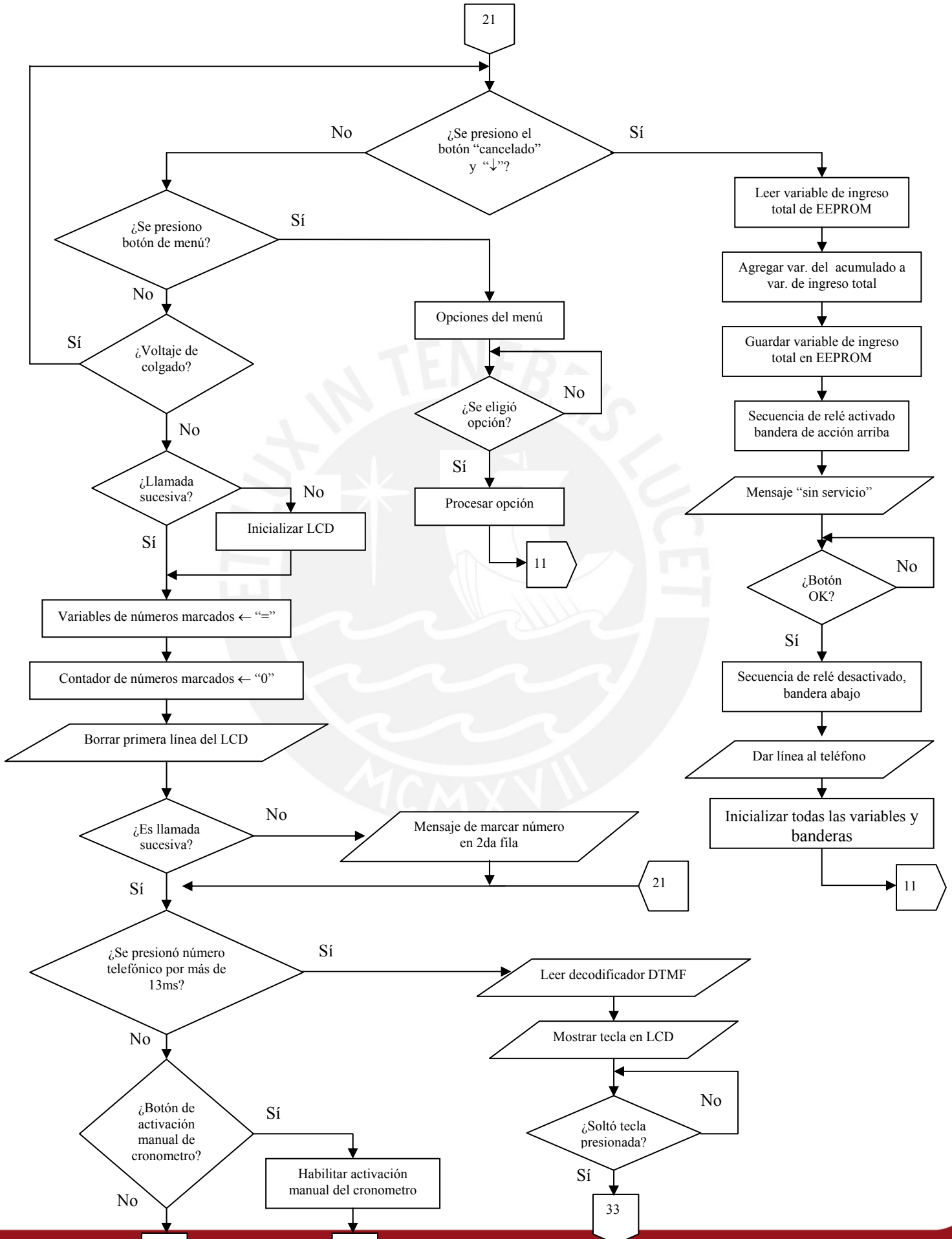
No mostraremos el código fuente completo sino más bien las rutinas importantes académicamente, pues como se mencionó en la introducción este proyecto busca un producto final comerciable. Ver rutinas del teclado y el LCD en Anexos 1 y 2.

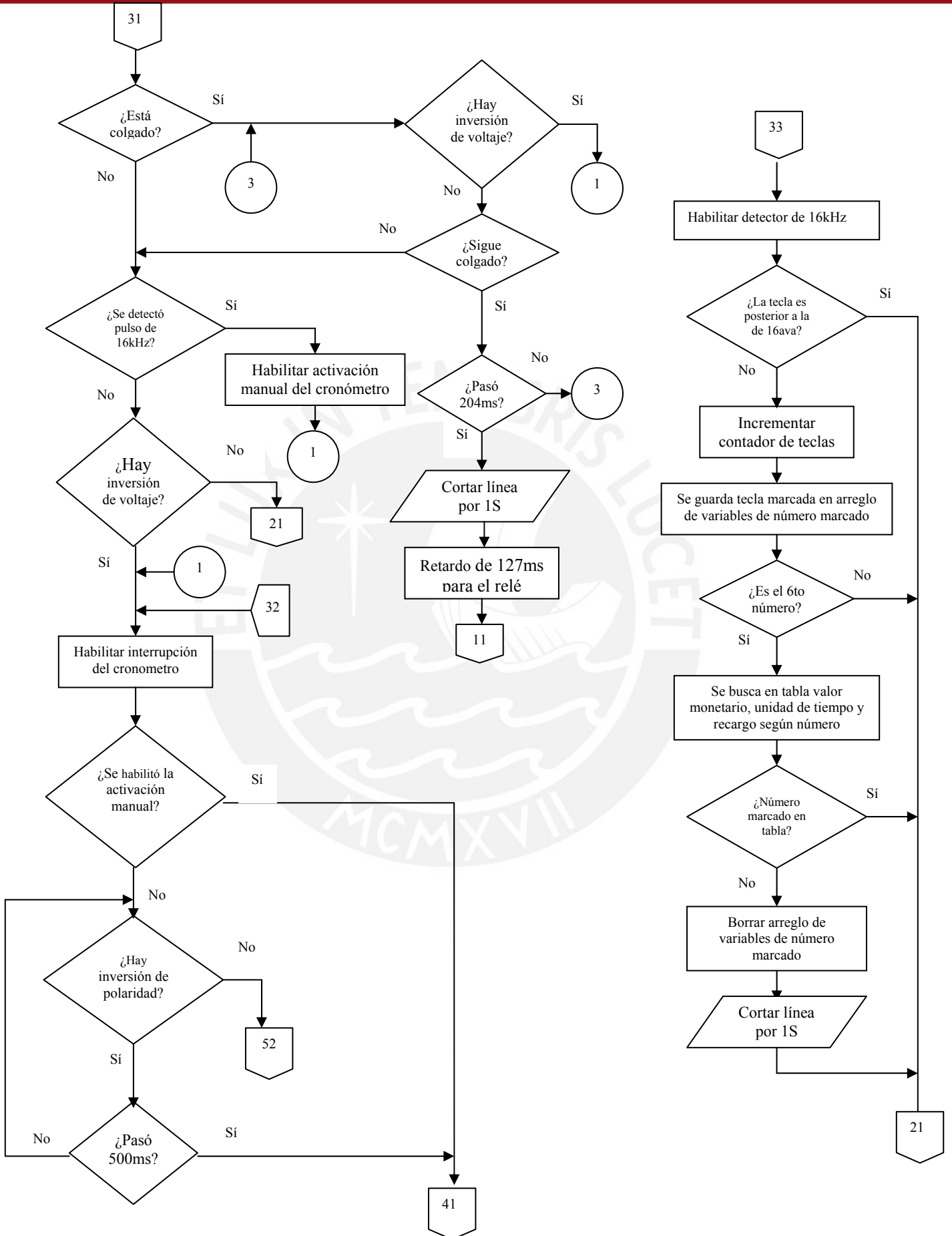
En el diagrama de flujo sólo se mostrarán los procesos referentes a la inicialización de periféricos y lo referente al inicio de una llamada, su facturación y culminación. Los procesos referentes a los menús, las interrupciones y comunicaciones no se mostrarán aquí.

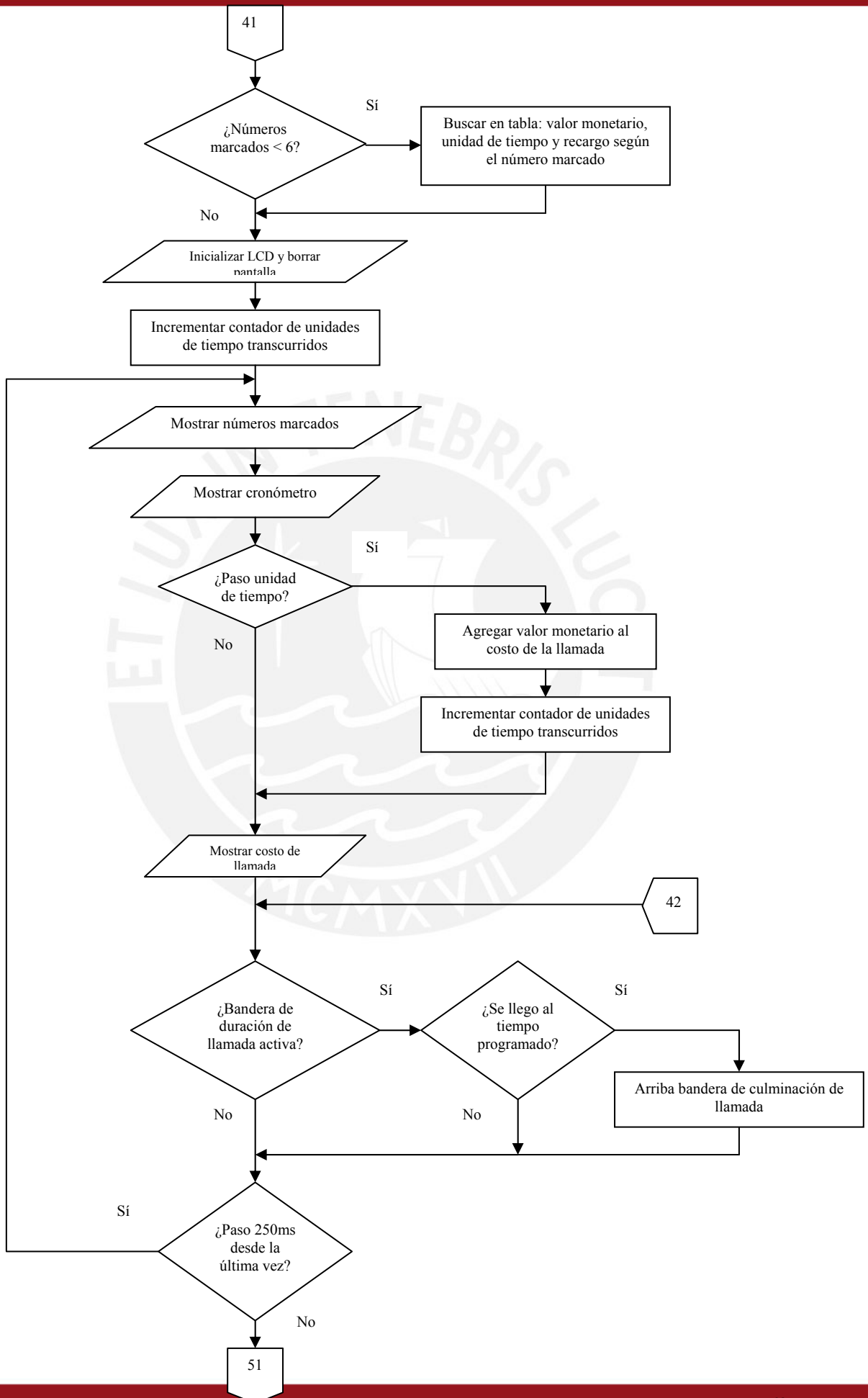
Algunos términos claves para entender el diagrama de flujo son los siguientes:

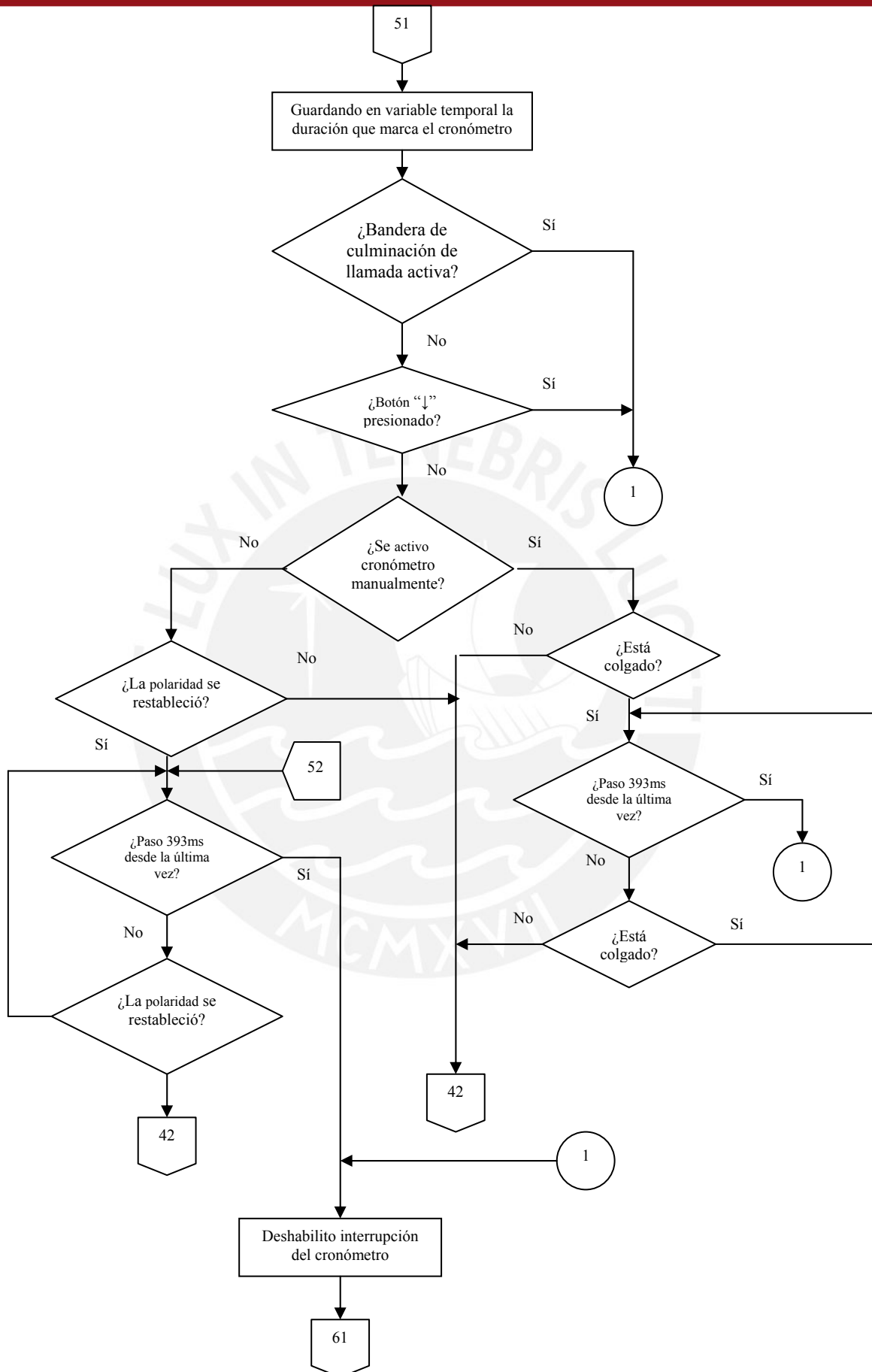
- *Polaridad de línea: La polaridad de la línea telefónica según la referencia del tarifador.*
- *Interrupción del relé o acción del relé: Interrupción del Timer1 donde en intervalos de casi 1S se excitará el devanado del relé y así su contacto se cerrará y abrirá constantemente.*
- *Inicializar LCD: Es una rutina que se encuentra en el Anexo 1 y sigue los pasos de la página 16 de [21].*
- *Variable “ingreso total”: Son siete bytes de la EEPROM que significan el ingreso monetario del tarifador hasta la última llamada.*
- *Variable “costo acumulado”: Es el costo de todas las llamadas que realizó el último cliente. Son siete bytes en RAM (Banco 1).*
- *Variable “costo de llamada”: Es el costo de una llamada en curso. Son siete bytes en RAM (Banco 0).*
- *Variable “duración de llamada”. Es el tiempo que dura una llamada en curso. Se representa por un cronómetro (horas, minutos y segundos), se ubica en la RAM (banco 0) y es controlado por la interrupción del Timer 2.*
- *Variables “valores monetarios”: Es el costo que se asigna a un tiempo de conversación en segundos. Hay uno por cada tarifa y están en la EEPROM, pero al leerlas se colocan en RAM y desde aquí son utilizadas.*
- *Variables “unidades de tiempo”: Es el tiempo de conversación en segundos que se usará como unidad de medida para calcular el costo una llamada. Hay uno por cada tarifa y están en la EEPROM, pero al leerlas se colocan en RAM y desde aquí son utilizadas.*
- *Variables “recargos”: Es el costo que se aplica a una llamada antes de realizarse. Hay uno por cada tarifa y están en la EEPROM.*
- *Activación manual del cronómetro: Sólo al estar en el estado colgado se puede presionar la tecla “↑” del teclado para iniciar el cronómetro y la tarifación.*
- *Bandera de duración de llamada: Se activa cuando se programa por menú el tiempo límite en minutos de una llamada.*
- *Tiempo mínimo que se factura: Para que una llamada se tarife debe ser mayor a este valor que esta expresado en segundos. Se programa por menú.*

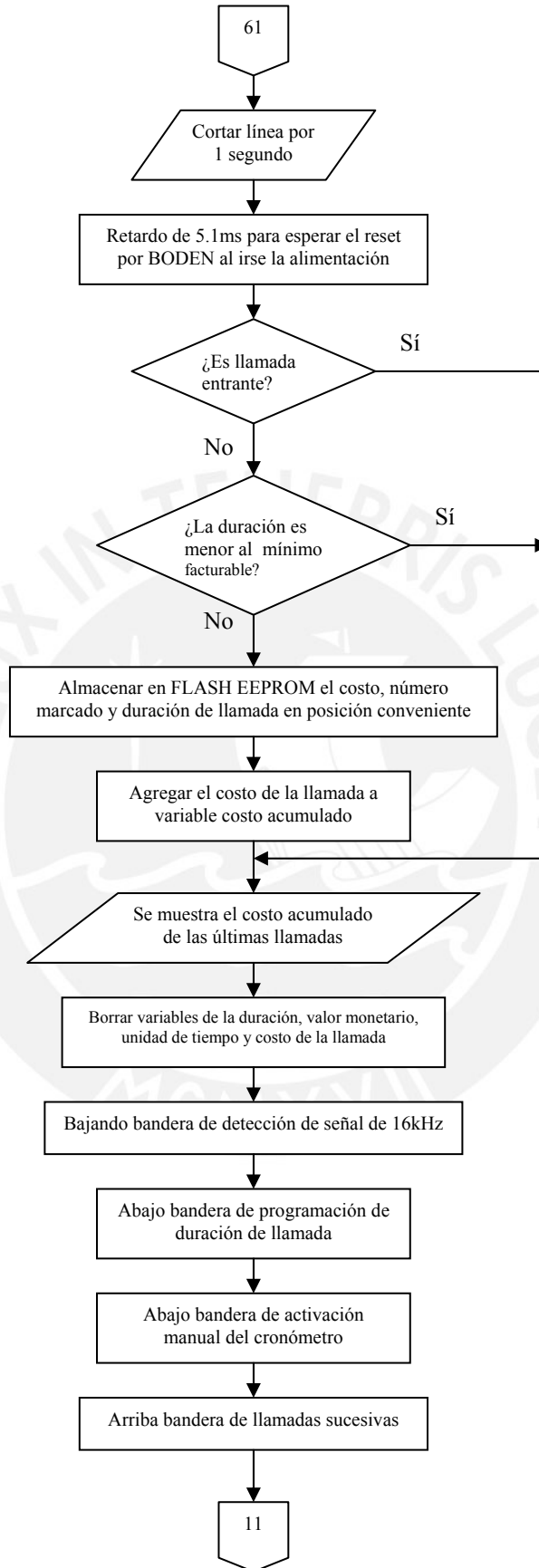












3.2.4. ETAPA DE ADMINISTRACIÓN DE LLAMADAS Y TABLAS TARIFARIAS

3.2.4.1. Almacenamiento de llamadas

Como se dijo en 2.12 el tarifador almacenará un extracto de un CDR. Por facilidad sólo almacenaremos:

- El número telefónico marcado
- La duración de la llamada concluida
- El costo de la llamada concluida

Dejaremos para una futura actualización el almacenamiento de un CDR más completo. Recordemos que lo más resaltante del tarifador es su capacidad de mostrar los valores de una llamada en tiempo real y por el momento nos basta los datos de arriba.

Ya que el buffer del número telefónico que manejamos es de 16 dígitos éste ocupará un total de 8 words (un dígito expresado en BCD ocupa 4 bits y 1 word del PIC equivale a 14 bits, pero por facilidad sólo almacenaremos dos dígitos en un word). La duración de la llamada tiene el formato: 00:00:00 o sea 6 dígitos y ocupará 3 words. El costo de la llamada tiene el formato: 0000.00 o sea 6 dígitos y ocupará 3 words. En total una llamada ocupará 14 words de la FLASH EEPROM, como hemos reservado 3840 words según Cdr.3.13 si estas las agrupamos en grupos de 256 words, tendremos 15 grupos. En cada grupo podremos almacenar 18 llamadas por los que en total podremos almacenar **270 llamadas** (15x18).

Si usáramos el PIC16F877A no podríamos grabar un grupo de 14 words ya que el hardware sólo permite grabar en grupos de 4 words, por lo que deberíamos agregar 2 words ficticios para que una llamada ocupe 16 words y así poder ser grabada con el algoritmo disponible para el PIC16F877. Ver capítulo 3.6 de [24].

Las rutinas de escritura y lectura de la FLASH se pueden observar en el capítulo 4 de [22].

3.2.4.2. Tablas Tarifarias

Una tabla tarifaria es una matriz de información que sirve para la tarifación. Usaremos un total de 4 tablas:

- Tabla de números identificadores, cada registro de esta tabla contiene una serie de dígitos que corresponderían a los primeros dígitos del número telefónico.
- Tabla de los valores monetarios, cada registro es el costo de una tarifa.
- Tabla de las unidades de tiempo, cada registro es el intervalo de tiempo de una tarifa.
- Tablas de los recargos, cada registro es el costo por conexión de una tarifa. El costo por conexión es un incremento al costo de la llamada.

Desde un principio se sabía que no podríamos tener muchas tablas y cada una de ellas no puede ser muy grande, por lo que limitaremos la cantidad de tarifas a **dieciséis**.

Para lograr una mayor versatilidad en la aplicación de un precio a una llamada se suele dividir la duración de la llamada en intervalos de tiempo programables. Y a cada intervalo o unidad de tiempo se le asigna un costo o valor monetario.

A su vez, a una llamada se le asigna un valor monetario y una unidad de tiempo según el número telefónico marcado. Por eso es de nuestro interés saber como es el procedimiento de marcación en el Perú. Esto lo encontraremos en el “Plan Técnico Fundamental de Numeración” [25].

En [25] podemos apreciar:

- Que este plan concuerda con la recomendación E.164 (ITU-T).
- Que la mínima cantidad de dígitos marcados se suele establecer a tres.
- Que el prefijo para llamadas internacionales es 00.
- Que el prefijo para llamadas nacionales es 0.
- Se deduce que números telefónicos que no empiecen con 0 ni 1 indican una llamada local.
- Que el código de un país puede tener hasta tres dígitos
- Que el código departamental puede tener hasta dos dígitos.

Ya que el prefijo nacional es distinto al prefijo internacional puede servirnos de discriminador y no formarán parte del número que tendremos en la “tabla de números identificadores”. Esta tabla estará formada por los diferentes códigos de países o códigos departamentales. Limitaremos el tamaño de un número identificador a sólo cuatro dígitos (que es mayor al código de país más grande según [25]).

	Valor Monetario	Recargo	Unidad de Tiempo	Números Identificadores	
				Tabla	Primera dirección en Flash EEPROM
Tarifa 0	xxxx.xx	xxxx.xx	xxx	63 Números Id.	0x800
Tarifa 1	xxxx.xx	xxxx.xx	xxx	63 Números Id.	0x880
Tarifa 2	xxxx.xx	xxxx.xx	xxx	63 Números Id.	0x900
Tarifa 3	xxxx.xx	xxxx.xx	xxx	63 Números Id.	0x980
Tarifa 4	xxxx.xx	xxxx.xx	xxx	63 Números Id.	0xA00
Tarifa 5	xxxx.xx	xxxx.xx	xxx	63 Números Id.	0xA80
Tarifa 6	xxxx.xx	xxxx.xx	xxx	63 Números Id.	0xB00
Tarifa 7	xxxx.xx	xxxx.xx	xxx	63 Números Id.	0xB80
Tarifa 8	xxxx.xx	xxxx.xx	xxx	63 Números Id.	0xC00
Tarifa 9	xxxx.xx	xxxx.xx	xxx	63 Números Id.	0xC80
Tarifa 10	xxxx.xx	xxxx.xx	xxx	63 Números Id.	0xD00
Tarifa 11	xxxx.xx	xxxx.xx	xxx	63 Números Id.	0xD80
Tarifa 12	xxxx.xx	xxxx.xx	xxx	63 Números Id.	0xE00
Tarifa 13	xxxx.xx	xxxx.xx	xxx	63 Números Id.	0xE80
Tarifa 14	xxxx.xx	xxxx.xx	xxx	63 Números Id.	0xF00
Tarifa 15	xxxx.xx	xxxx.xx	xxx	63 Números Id.	0xF80

Cdr.3.15. Las tablas tarifarias

Según Cdr.3.13 tenemos 2048 words para la tabla de números identificadores y para tener 16 tarifas distintas cada tarifa debería tener sólo 128 words. Lo que significa que tendremos un máximo de 63 números identificadores por tarifa si reservamos los dos últimos words de cada grupo para usarlos como limitadores (un número identificador de 4 dígitos ocupa 2 words).

Para los 16 distintos “valores monetarios”, “recargos” y “unidades de tiempo” usaremos la EEPROM de datos como se vio en Cdr.3.14. Cada valor monetario y recargo tendrá cuatro dígitos enteros y dos dígitos decimales. Y cada unidad de tiempo será un número entre 0 y 255 que se representará en tres dígitos. En Cdr.3.15 se aprecian las cuatro tablas donde se ve que cada una de las dieciséis tarifas tiene un valor monetario, un recargo, una unidad de tiempo y 63 números identificadores.

Entonces distribuiremos así las tarifas:

- El grupo de tarifas del 0 al 5 son para números internacionales (prefijo 00).
- El grupo de tarifas del 6 al 11 son para números nacionales (prefijo 0).
- El grupo de tarifas del 12 al 15 son para números locales (sin prefijo).

Volvemos a recalcar que el prefijo 00 o el prefijo 0 no forman parte de un número identificador. Y más bien nos servirá para saber desde que número de tarifa debemos comenzar la búsqueda (internacional, nacional o local).

3.2.4.3. Procedimiento de tarifación

Luego de marcar el sexto dígito del número telefónico se analizará el primero y segundo dígito, si ambos resultan ser 0 comenzaremos la búsqueda en la dirección 0x800 de la FLASH EEPROM. Si sólo el primero es 0 comenzaremos en 0xB00 y si ninguno lo es comenzaremos en 0xE00.

Teniendo la primera dirección FLASH de búsqueda proseguimos a comparar el resto de dígitos del número telefónico marcado con cada uno de los números identificadores hasta llegar al valor 0xEE (se ubica al final de cada grupo tarifario) o hasta que los cuatro dígitos del número identificador coincidan con los cuatro dígitos del número telefónico luego del prefijo.

Entre los dígitos de un número identificador existe uno especial (el comodín) que indica ignorar ese dígito y pasar a analizar el siguiente. Sirve para reducir la cantidad de números identificadores y para agrupar muchos posibles números telefónicos en un solo número identificador.

Ya que el primer número identificador de una tarifa siempre se ubica en una dirección FLASH múltiplo de 128 será fácil ubicar el número de tarifa al que pertenece cualquier número identificador. Y con este número de tarifa (entre 0 y 15) se podrá ubicar el valor monetario, el recargo y la unidad de tiempo que se asignó a esa tarifa.

De llegar al valor 0xEE se asignan los valores por defecto que son: unidad de tiempo a 60 segundos, recargo y valor monetario a 0000.00, esto debido a que el número telefónico marcado no se encontró en la tabla de números identificadores.

3.3. MÓDULO REMOTO

Tanto el operador quien administra el locutorio y el usuario quien realiza la llamada deben poder acceder a la misma información de la llamada en curso. Para esto sólo será suficiente conectar una segunda pantalla de cristal líquido donde se conecta la pantalla del módulo operador. Es decir el módulo remoto estará formado por una pantalla de cristal líquido y lo necesario para que funcione correctamente. Para conectar ambos módulos se diseñará el módulo de transmisión.

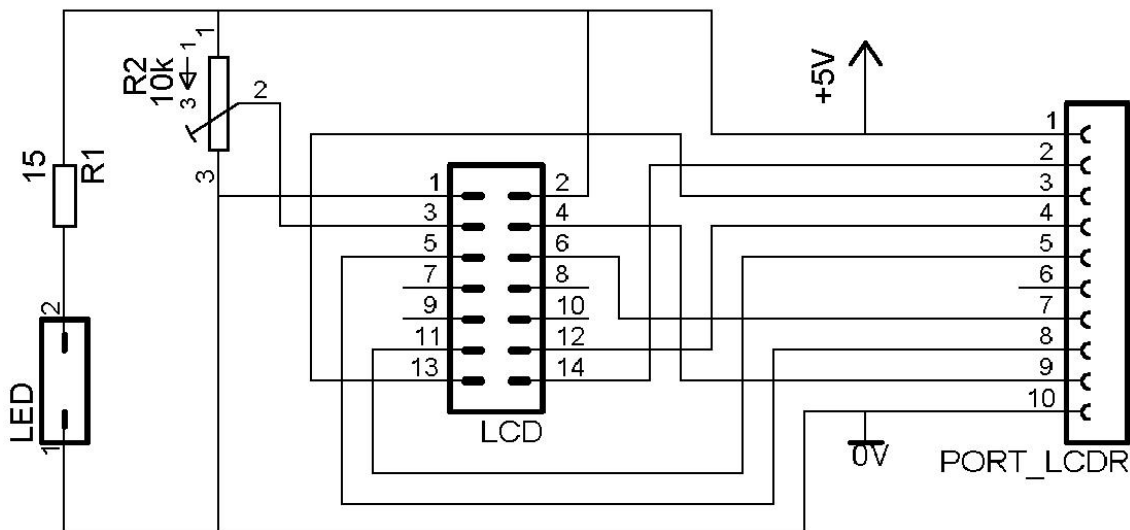


Fig.3.20 Esquemático del módulo remoto

En Fig.3.20 se aprecia el esquemático final del módulo remoto. Donde el LCD tendrá su propio potenciómetro (R2) para el contraste. Sólo se usará un LCD con contraste positivo. Este LCD deberá contar con luz trasera o BACKLIGHT mediante diodos emisores de luz, por eso será necesario utilizar una resistencia (R1) para graduar la corriente de estos diodos. Una iluminación aceptable que no consume mucha corriente se logra a 40mA y 4.4V (dato obtenido experimentalmente) por eso la resistencia R1 es de 15Ω. Los pines del LCD se conectarán directamente a un conector DB9 macho aéreo representado en Fig.3.20 como PORT_LCDR donde el pin 10 es la carcasa.

3.4. MÓDULO DE TRANSMISIÓN

Se encargará de conectar el módulo remoto y el módulo operador como se aprecia en Fig.3.21.

Ahora debemos elegir si transmitiremos los datos en forma paralela o serial. Lo común es usar la transmisión serial por utilizar un cableado con pocos hilos y porque existen codificadores que nos protegen de los efectos electromagnéticos. Pero usaremos la transmisión paralela por las siguientes razones:

- Este proyecto se orienta a un locutorio de hasta tres líneas telefónicas y lo normal será utilizar sólo dos líneas telefónicas. Así el volumen del cableado del locutorio no será gran problema.
- Podemos asumir que en un locutorio con un máximo de tres líneas telefónicas el cableado de cada una no superará la distancia de 10 metros.
- El hecho de utilizar codificadores implican más complejidad en hardware y software en el módulo operador y remoto, se tendría que usar un conversor paralelo-serial pues el USART del PIC16F877 ya está asignado a otra tarea. Todo esto elevaría el costo.
- Según nuestras pruebas la distancia de 10m puede ser cubierta transmitiendo en forma paralela con valores TTL, siempre y cuando respetemos el cableado estructurado, no juntemos más de tres cables y no transmitamos a un retardo menor de 3.6ms.

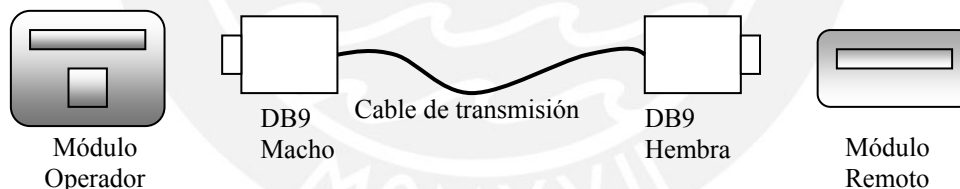


Fig.3.21 Conexión del módulo operador y del módulo remoto

En el capítulo 8.4 de [26] podemos apreciar el comportamiento de una línea de transmisión usando niveles TTL. Lo rescatable de este análisis es:

- Lo importante de un buen acoplamiento (impedancia de entrada muy alta e impedancia de salida muy baja) para evitar las reflexiones de señal de alta magnitud. El uso de compuertas TTL en ambos extremos del cable resuelve este problema.
- Cuando el tiempo de transmisión de una señal (tiempo que demora la señal desde un extremo al otro del cable, usualmente se considera cero) está en el orden del tiempo de transición de la señal (tiempo en que la señal demora en cambiar de estado lógico) o el tiempo de respuesta de un circuito integrado, se debe considerar la teoría de líneas de transmisión (pequeñas reflexiones que

durán aproximadamente dos veces el tiempo de transmisión). Y en nuestro caso para un cable de 10 metros según [26] el tiempo de transmisión de una señal es de 57.4ns.

- Esta teoría no se aplica si el tiempo de transmisión es menor al tiempo de respuesta de un circuito integrado (el CI no tendrá tiempo para detectar estas reflexiones). Esto es lo normal debido a que la longitud de las pistas de un circuito impreso no supera las 6 pulgadas.
- Entonces debemos elegir un integrado TTL con alto tiempo de respuesta y como no hay integrados que superen los 57ms debemos verificar que nuestro integrado posea diodos de enclavado para atenuar las reflexiones.

Entonces debemos agregar un circuito integrado TTL entre el módulo operador y el cable. Este circuito integrado será un buffer que proteja al PIC16F877 y lo escogeremos de entre los siguientes circuitos integrados: MM74HC244 y 74HC245.

Elegiremos el buffer no inversor 74HC245 por su distribución de pines, su tiempo de respuesta (o propagación) es de 25ns [27].

Definición	DB9 Macho	DB9 Hembra
5V	PIN 1	PIN 1
Data Bit 7	PIN 2	PIN 2
Data Bit 6	PIN 3	PIN 3
Data Bit 5	PIN 4	PIN 4
Data Bit 4	PIN 5	PIN 5
-7V	PIN 6	PIN 6
E	PIN 7	PIN 7
R/W	PIN 8	PIN 8
RS	PIN 9	PIN 9
GND	CARCASA	CARCASA

Cdr.3.16 Distribución de pines de los conectores DB9 del cable de transmisión

Para la elección del cable debemos considerar otros fenómenos (capítulo 4 en [5]) que afectan a una línea de transmisión, como:

- Atenuación, obviamente nos afecta por la longitud del cable pero el 74HC245 de tecnología CMOS puede aceptar niveles lógicos de un mayor rango de voltaje que la tecnología TTL.
- Discontinuidad de impedancia, como vimos antes, esto produce la reflexión de la señal, para eso el cable deberá ser flexible (multifilar) para evitar posibles rupturas en sus hilos. Así mismo usaremos un adecuado conector mecánico.
- Inducción electromagnética externa, para eso usaremos un cable apantallado.
- Diafonía o inducción entre hilos adyacentes, se suele trenzar pares de hilos con voltajes inversos para evitar la diafonía, pero nosotros no contamos con pares de voltajes inversos. Según nuestras pruebas este fenómeno no nos afecta apreciablemente.

El cable que usaremos será de 10 hilos AWG 20 (cada hilo será multifilar) con un revestimiento metálico, de fácil ubicación en el mercado local. Se usarán 10 hilos por la cantidad de bits necesarios para controlar el LCD y el transporte de la alimentación, ver Cdr.3.16.

Y ya que sólo usaremos un conector para los 10 hilos elegiremos el conector DB9 capaz de portar 10 pines incluyendo la carcasa. Se usará un conector por cada extremo del cable. En el extremo del módulo remoto irá un conector DB9 hembra aéreo y en el extremo del módulo operador irá un DB9 macho aéreo como se ve en Fig.3.21.

3.5. MÓDULO INTERFAZ

Ya que decidimos usar el USART del PIC16F877 no tendremos mucho en que pensar para elegir el puerto de la computadora al cual nos conectaremos. Usaremos el puerto de comunicaciones de la computadora y por tal la norma serie RS232. Claro que pudimos haber escogido entre otras normas como: RS485, RS422 o RS475, pero el puerto de comunicaciones de la computadora ya viene preparado para el RS232.

El tipo de computadora que usaremos será compatible a las fabricadas por IBM.

Estas son las características más resaltantes de la norma RS232 (capítulo 5 en [28]):

- Es una norma dada por la EIA.
- Es capaz de transmitir de forma síncrona y asíncrona. Ya que un computador IBM posee un UART usaremos la comunicación asíncrona (sin reloj).
 - La cual utiliza un bit de inicio.
 - Entre 5 a 8 bits de datos.
 - 0 ó 1 bit de paridad.
 - 1, 1.5 ó 2 bits de parada.
- Usa originalmente un conector DB25 pero hoy en día es usado el conector DB9. El computador utiliza un DB9 macho donde: la pata 3 es para transmitir, la pata 2 para recibir y la pata 5 para la tierra.
- La longitud máxima del cable depende de la calidad de éste y de la velocidad de transmisión utilizada. En principio la norma recomienda que no sea superior a 15m para una velocidad de 20kbps.
- Usa la subnorma eléctrica V.28, la cual especifica una comunicación punto a punto donde ambos extremos comparten la tierra. La señal utilizada es bipolar con lógica invertida, utilizando los siguientes valores:
 - 1 lógico = -3 a - 15 voltios.
 - 0 lógico = + 3 a + 15 voltios.
- La norma RS232 es cortocircuitable. Esto quiere decir que, al menos teóricamente, los drivers de salida de las puertas disponen de un mecanismo de auto-protección contra sobrecalentamientos. La tensión máxima de operación es +/-25voltios y la carga máxima es de 3kΩ a 7kΩ, con una corriente máxima de 500mA.
- Existen dos posibilidades de control de flujo de datos con la norma RS232:

- Una por hardware donde se utilizan las líneas RTS (pata 7) y CTS (pata 8) del conector DB9.
- Y otra por software mediante el protocolo XON/XOFF.

Por compatibilidad con el PIC16F877 usaremos el computador IBM configurado con los siguientes parámetros:

- 8bits de datos, ninguna paridad y un bit de parada.
- No usaremos control de flujo.
- Una velocidad de transmisión de 9.6kbps.
- Como emulador de Terminal usaremos el HyperTerminal, aplicación que viene en todas las versiones del sistema operativo Windows.

Ya que el PIC16877 usa el formato de transmisión NRZ en lógica positiva con valores TTL sólo debemos usar un transceptor que cambien los niveles TTL a niveles V.28 y viceversa para comunicarnos con el computador. En Cdr.3.17 podemos apreciar circuitos integrados que poseen transmisores y receptores RS232.

Modelo	ICL3226CA	MAX232
Transmisor	1	2
Receptor	1	2
Precio	S/. 4.2	S/. 6
Accesibilidad	Extranjero	Local

Cdr.3.17 Comparación de circuitos integrados transceptores RS232

La marca MAXIM posee varios transceptores distribuidos en el mercado local y entre los cuales elegiremos el MAX232 (ver especificaciones en [29]).

Se creará dos rutinas en el PIC16F877, una leerá el contenido de todas las tablas tarifarias y las transmitirá en formato ASCII por el USART. La otra recibirá los paquetes emitidos por el computador, los desempaquetará y grabará los datos en las posiciones de memoria vistos en Cdr.3.14 y Cdr.3.13.

No usaremos el MAX232 en el módulo operador, más bien diseñaremos una interfaz independiente capaz de conectarse en el mismo puerto donde se conecta el módulo de transmisión.

Esta interfaz sólo tendrá los componentes electrónicos necesarios para que funcione el MAX232 (ver [29]) y sólo se usará cuando queramos actualizar las tablas tarifarias. En Fig.3.22 podemos apreciar un esquemático del mismo, donde utilizaremos un conector DB9 macho (para circuito impreso) para conectar la interfaz al tarifador (conector TAR en el gráfico) y un conector DB9 hembra (para circuito impreso) para conectar la interfaz al computador (conector PC en el gráfico).

Además se podrá utilizar un cable entre la interfaz y el computador, donde sólo serán necesarios los hilos de transmisión, recepción y tierra.

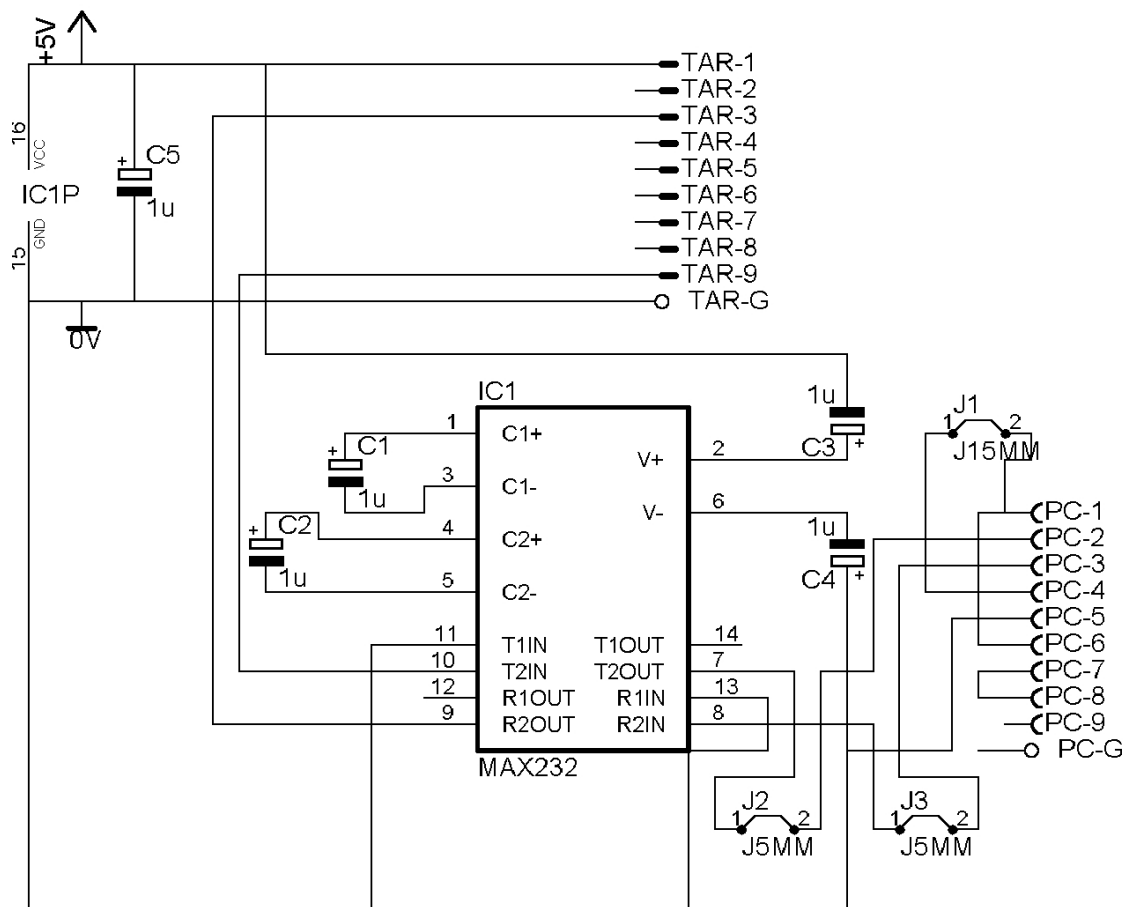


Fig.3.22 Esquemático del módulo interfaz

3.5.1. Uso del HyperTerminal

La idea es que el tarifador envíe sus tablas en forma de texto (carácter por carácter) para lo cual el HyperTerminal usará la opción “Capturar Texto” y almacenará estas tablas en un archivo de texto. Así podremos manipular este archivo respetando su tamaño y la distribución del texto. Por último transmitiremos este archivo de texto desde el HyperTerminal usando su opción “Enviar Archivo”.

Pero debemos escoger un protocolo de transmisión de archivos. El HyperTerminal maneja los siguientes: 1K Xmodem, Kermit, Xmodem, Ymodem, Ymodem-G, Zmodem, Zmodem (con recuperación de errores). Elegiremos Xmodem pues es el que maneja archivos de menor tamaño.

El protocolo Xmodem utilizado por el HyperTerminal divide el archivo en tramas que tienen el formato de Fig.3.23, donde:

- SOH, marca el comienzo de la trama.

- BlockNo, es el número de la trama. Este número esta en el rango de [1, 255]. Luego de 255 el número inicia nuevamente en 1.
- ~BlockNo, es el complemento del número de la trama. O sea, 255 - BlockNo.
- Data, es un texto de 128 caracteres de longitud. Si el texto es menor a 128 la trama se llenará con caracteres CtrlZ.
- CRC16, sirve para detectar errores en la trama mediante el algoritmo CRC con divisor polinomial $X^{16} + X^{15} + X^2 + X^0$.

<SOH> 1 byte	<BlockNo> 1 byte	<~BlockNo> 1 byte	<Data> 128 bytes	<CRC16> 2 bytes
-----------------	---------------------	----------------------	---------------------	--------------------

Fig.3.23 Trama Xmodem

El procedimiento de comunicación mediante el protocolo Xmodem se aprecia en Fig.3.24. El receptor envía cada 10s el carácter ‘C’ (0x43) esperando la transmisión. El transmisor envía la trama Xmodem con su respectivo número de trama y CRC. Si el receptor detecta un error mediante el algoritmo CRC o un error en el número de trama puede pedir la repetición de la misma mandando el caracter NAK (0x15) en caso de conformidad se envía ACK (0x06). Cuando el transmisor detecta que llegó al final del archivo, luego de enviar la última trama, envía el caracter EOT (0x04). Por último el receptor responde con una confirmación ACK.

Ahora se nos presenta otro problema, la implementación del algoritmo CRC en el PIC16F877 para detectar los errores en las tramas Xmodem. En [30] podemos apreciar como funciona el algoritmo CRC. La idea es dividir el dato a transmitir entre un número conocido (divisor polinomial) el residuo que se obtenga se colocará en al campo CRC de la trama. El receptor deberá nuevamente dividir el dato entre el divisor polinomial y comparar el residuo calculado con el campo CRC recibido, si es diferente deberá descartar la trama.

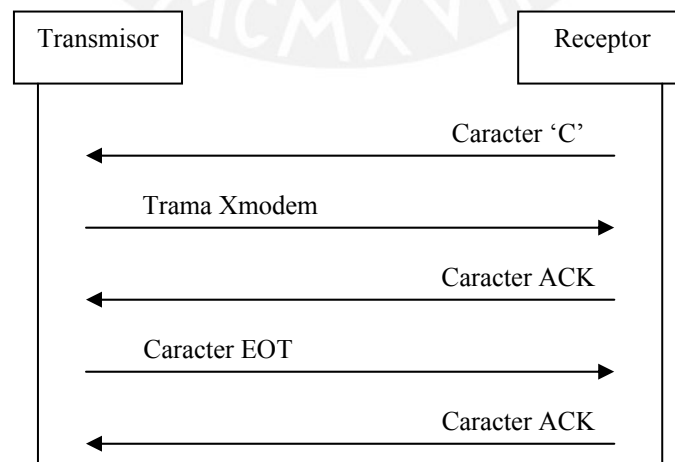


Fig.3.24 Comunicación con el protocolo Xmodem

El divisor polinomial $X^{16} + X^{15} + X^2 + X^0$ no es nada más que el número binario 1000000000000101.

Para que un microcontrolador divida un número de 128bytes entre otro de 16bits se debe hacer un artificio explicado en [30]. Donde se debe usar una tabla de 256 words por cada byte del campo CRC que sirven para el cálculo del residuo, además de las distintas rutinas que utilizan las tablas y que sirven para la comparación. En conclusión es demasiado código fuente, lo que hace imposible colocarlo en nuestra distribución de memoria.

Por tal razón asumiremos que toda trama Xmodem no tendrá errores de CRC y será responsabilidad del operador del tarifador verificar la integridad de las tablas tarifarias. Algo a nuestro favor es que la comunicación serie asíncrona no tendrá el problema de un cableado extenso pues solo uniremos el computador con el tarifador y esto aumenta la confiabilidad de la comunicación.

3.6. MÓDULO DE ALIMENTACIÓN

Como se vio en la etapa de reconocimiento será necesaria una alimentación de 5Vdc y una de -7Vdc. Para esto podemos elegir entre:

- Inversores de Voltaje
- Reguladores de Voltaje
- Una fuente externa que proporcione los voltajes necesarios

Para elegir el circuito que alimente este proyecto primero debemos tener un aproximado del consumo de corriente. Así que repasemos los consumos independientes de cada etapa (valores aproximados) y estos serían los consumos de la alimentación de 5Vdc:

- Módulo operador: 120mA
 - o Etapa de Reconocimiento: 30mA
 - o Etapa de Actuación: 55mA
 - o Etapa de Control: 35mA
- Módulo remoto: 40mA

Consumos de la alimentación de -7Vdc:

- Módulo operador: 0.7mA
 - o Etapa de Reconocimiento: 0.7mA

Entonces el consumo máximo de corriente no supera los 2 amperios y el consumo típico aproximado será de **160.7mA**. Esto limita nuestra selección, veamos:

- Los inversores de voltaje pueden darnos hasta las dos polaridades que necesitamos, pero no se caracterizan en proporcionar alta potencia (por ejemplo el MAX1621). Aquellos que proporcionan la potencia necesaria se basan en inductores y requieren muchos componentes externos. Sin mencionar que conseguir inductores es muy difíciles en el mercado local, y peor si queremos variedad de valores para elegir.
- Una fuente externa que cumple con las necesidades sería la fuente switching de una computadora personal. Pero el costo de esta fuente no justifica si sólo se alimentará a un tarifador.
- Los reguladores de voltaje en el mercado local que proporcionen hasta 2 amperios sólo dan una polaridad de voltaje. Si deseáramos usarlos serían como mínimo dos para un tarifador. Pero esto no es desventaja ya que el precio de dos reguladores es menor al de un inversor.

Entre los reguladores de voltaje encontramos los de salida variable y salida fija. Para nosotros no nos sirve mucho que los reguladores de salida variable tengan más componentes externos que los de salida fija.

3.6.1. Diseño de la fuente usando reguladores de voltaje

En el mercado local los reguladores de voltaje positivos más difundidos son los de la serie LM-L7800 y entre los reguladores negativos tenemos la serie LM-L7900.

En la figura 5, página 8 de [31] se aprecia la configuración que implementaremos en Fig.3.25.

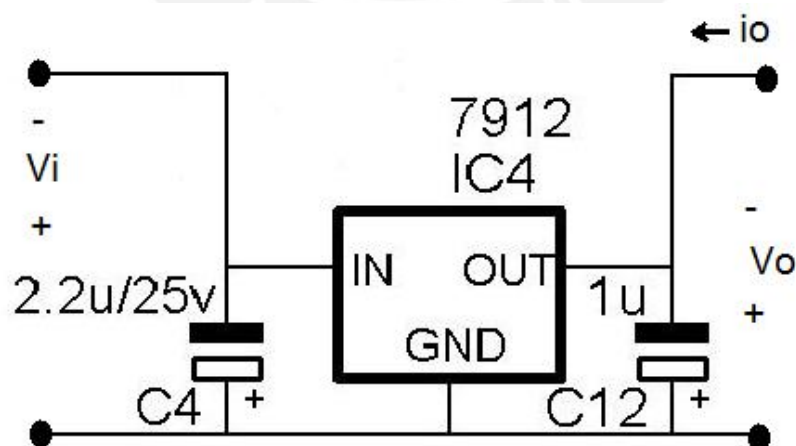


Fig.3.25 Fuente básica usando un regulador de voltaje negativo

Para definir V_i debemos considerar que según [31] el regulador L7912 se debe alimentar con 19Vdc. Pero como dato experimental podemos considerar que la serie L7900 se puede alimentar con un incremento de 2.5V del voltaje de salida. Así podremos usar adaptadores AC-DC de 15 a 16V difundidos en el mercado local.

Ahora al usar un regulador L7905 en la misma configuración de la Fig.3.25 tendremos una alimentación de -5Vdc. Pero ¿de qué nos sirve tener -12Vdc y -5Vdc de alimentación? La razón está en jugar con la posición de la referencia para obtener +5Vdc y la alimentación negativa que buscábamos.

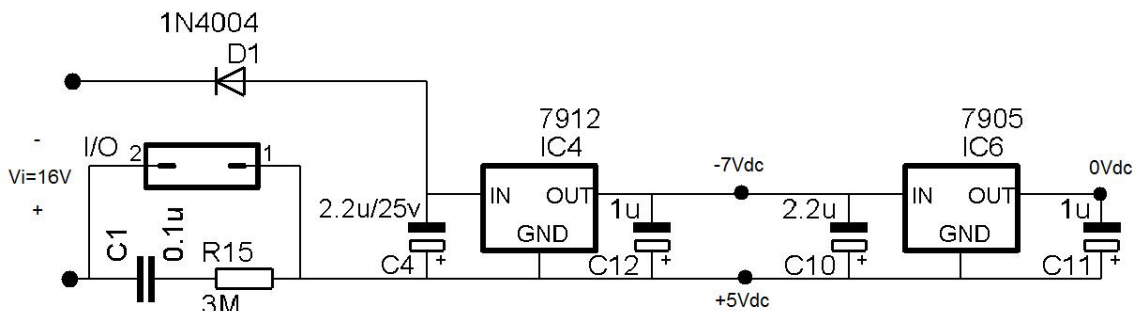


Fig.3.26 Esquemático de la Fuente del Tarifador

Al unir los circuitos reguladores del L7912 y del L7905 obtenemos el circuito de Fig.3.26. Pero este circuito además tiene un diodo rectificador 1N4004 (D1) para asegurar que si el voltaje de entrada ($V_i=16V$) es invertido por error no se dañe al circuito. El 1N4004 soporta hasta 1 Amperio como corriente directa ($\gg 160mA$) y un alto voltaje inverso ($\gg 16V$), ver datasheet: página 1 en [32]. La desventaja es su voltaje directo de 0.8V @ 160mA, por lo que el voltaje de entrada (V_i) deberá ser de **16.1V como mínimo** (aún factible en el mercado local).

Por último en Fig.3.26 se agregó un interruptor (I/O) con un circuito RC que filtra los falsos contactos al cerrarse el interruptor. Estos falsos contactos pueden causar una mala iniciación de la pantalla de cristal liquido, por lo que la constante capacitiva de tiempo ($T_c=RC$) debe tener un valor superior a la duración de la iniciación, para este caso escogeremos 300ms ($R=3M\Omega$ y $C=0.1\mu F$). Recordemos que el capacitor se carga hasta el 63% en un tiempo RC segundos.

3.6.2. Características del diseño de la fuente de alimentación

Los reguladores de voltaje L7905 y L7912 usarán un disipador de potencia a convección natural, obviamente el tamaño del disipador depende de la potencia disipada y así mismo del consumo de corriente. Y para el consumo real del tarifador de 160mA es suficiente un disipador comercial de 2cm x 1.2cm x 1.2cm.

La fuente de alimentación diseñada proporciona:

- Una salida de 5Vdc, hasta 1Adc.
- Una salida de -7Vdc, hasta 1Adc.
- Protección para la inversión del voltaje de entrada.
- Interruptor de encendido y apagado.
- Como entrada será necesario un adaptador AC-DC de 220Vac/16Vdc (hasta 20Vdc).
- Todos los condensadores del circuito son electrolíticos de 16Vdc, excepto el C4 que será de 25Vdc y el C1 que será cerámico de 100V (ver Fig.3.26).
- Todas las resistencias del circuito son de 1/4W (ver Fig.3.26).



3.7. DIAGRAMAS DEL DISEÑO

Mostramos el diagrama de bloques del tarifador en Fig.3.27, donde se aprecian todas las partes del tarifador:

- Marco 1: Módulo de Alimentación
- Marco 2: Módulo Operador
- Marco 3: Módulo de Transmisión
- Marco 4: Módulo Remoto
- Marco 5: Módulo Interfaz

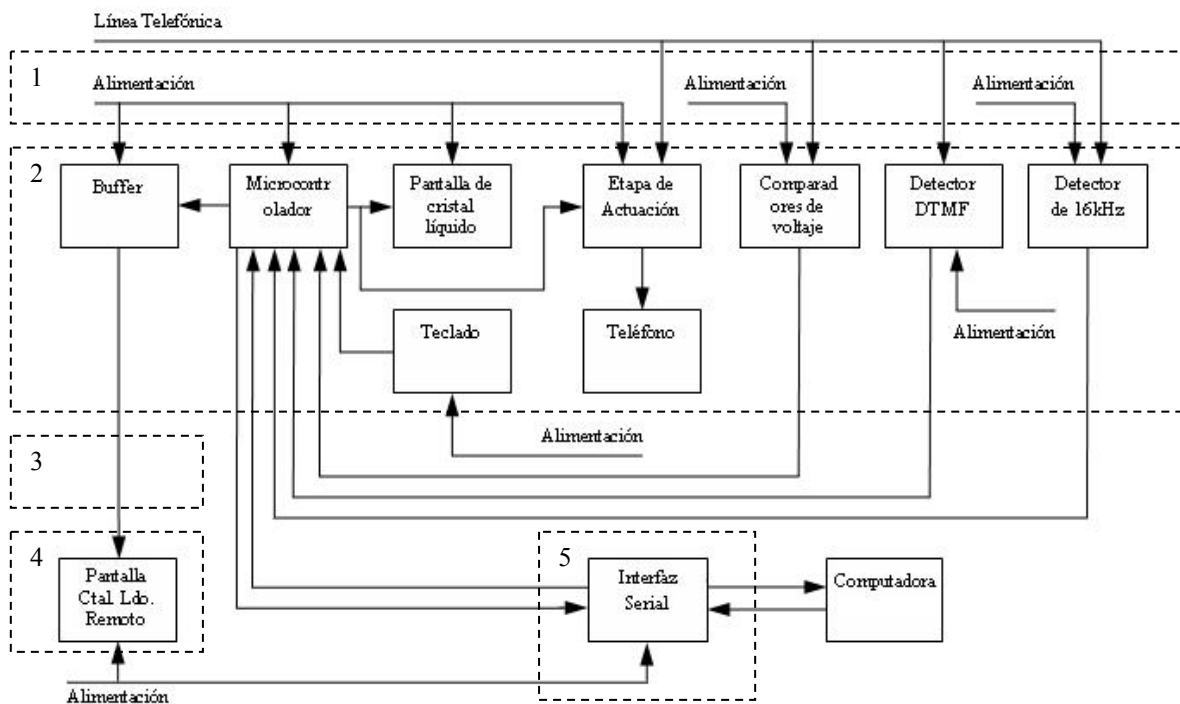


Fig.3.27 Diagrama de Bloques del Tarifador

Otra forma de ver la integración de todos los módulos es por medio de los diagramas esquemáticos.

En Fig.3.28 mostramos el diagrama esquemático del módulo operador y del módulo de alimentación donde podemos identificar los siguientes conectores:

- PORT_LCD es el conector espadín para el LCD del módulo operador.
- PORT_TECL es el conector espadín para el teclado matricial.
- PORT_LR/US es un conector DB9 hembra para circuito impreso y sirve para la conexión del módulo operador con el modulo remoto o la interfaz serial.
- TLF/LINEA es un conector RJ11 hembra para circuito impreso destinado a conectar el teléfono y por donde ingresa la línea telefónica.
- POWER es una bornera de dos terminales para la conexión con el adaptador AC/DC.

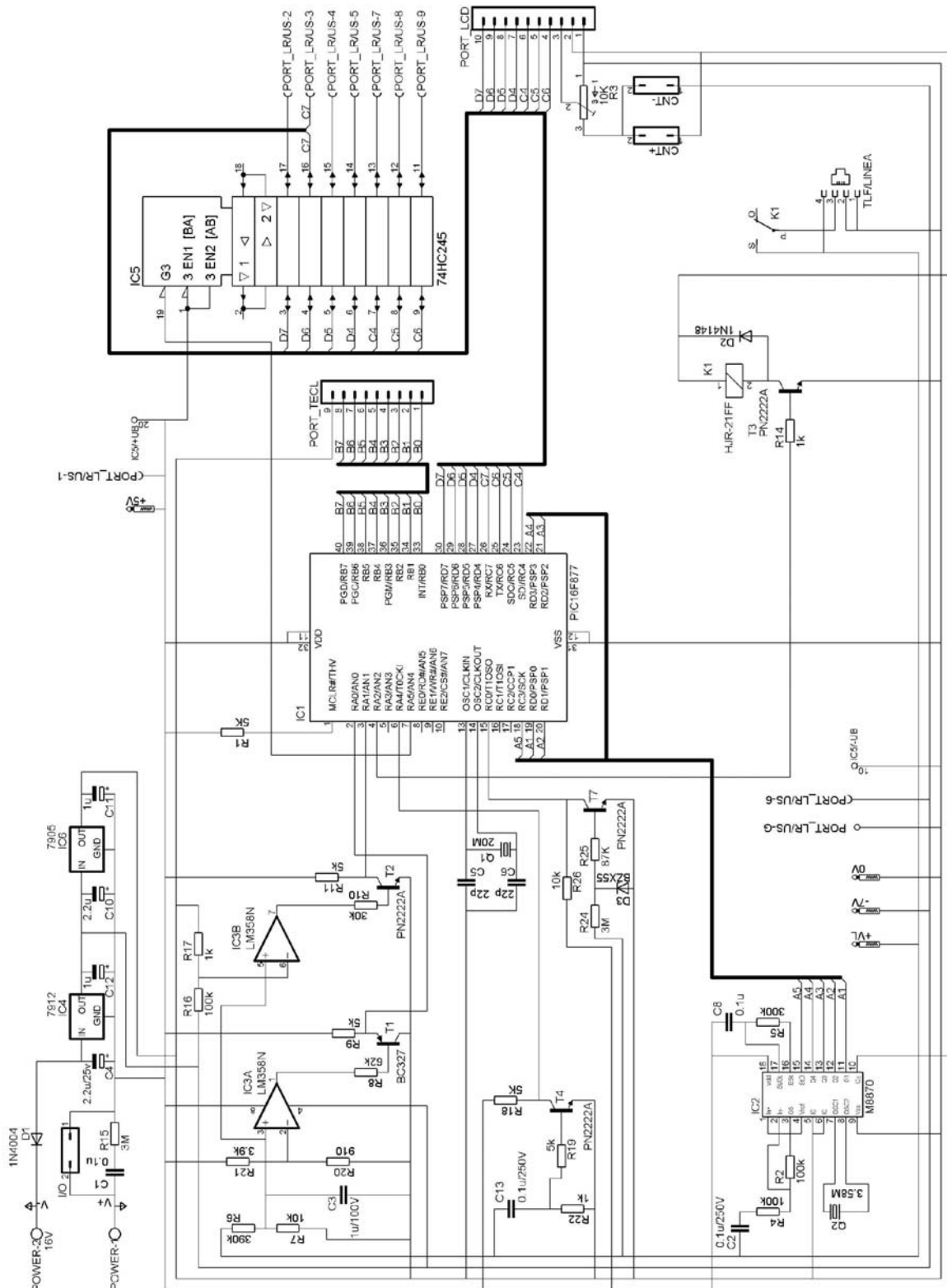


Fig.3.28 Diagrama Esquemático del Módulo Operador y de Alimentación

4. PRUEBAS Y RESULTADOS EXPERIMENTALES

4.1. Simulaciones

4.1.1. Simulación de los comparadores de voltaje

En Fig.4.1 mostramos el voltaje VL aplicado al circuito comparador de voltaje apreciado en Fig.3.10. La señal VL presenta todos los valores críticos para el comparador desde -200V hasta +200V.

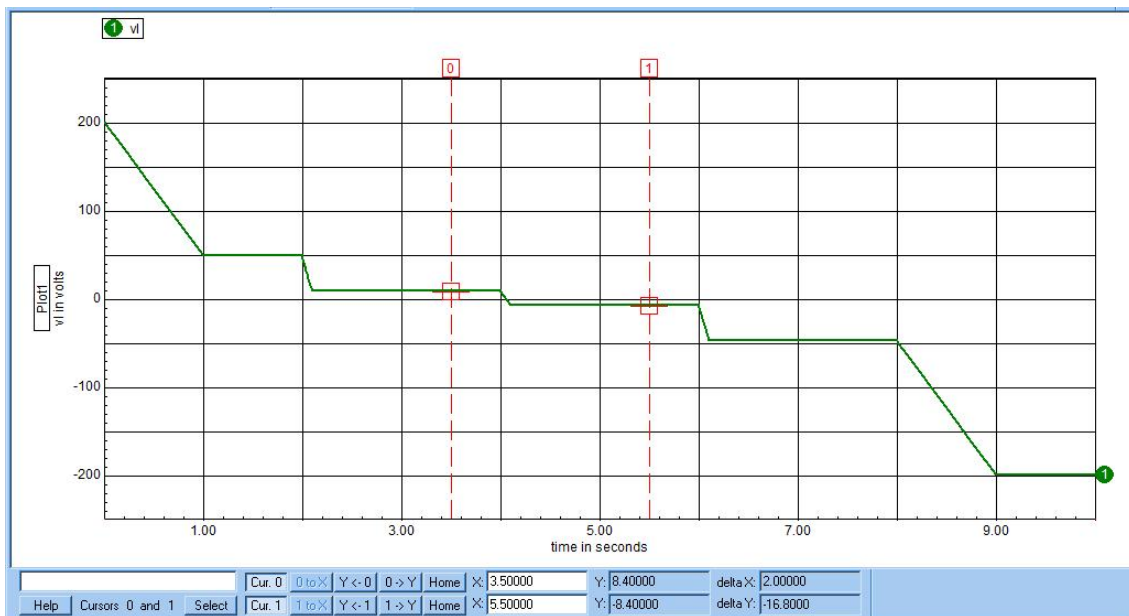


Fig.4.1 Voltaje de línea telefónica VL aplicado al circuito comparador de voltaje

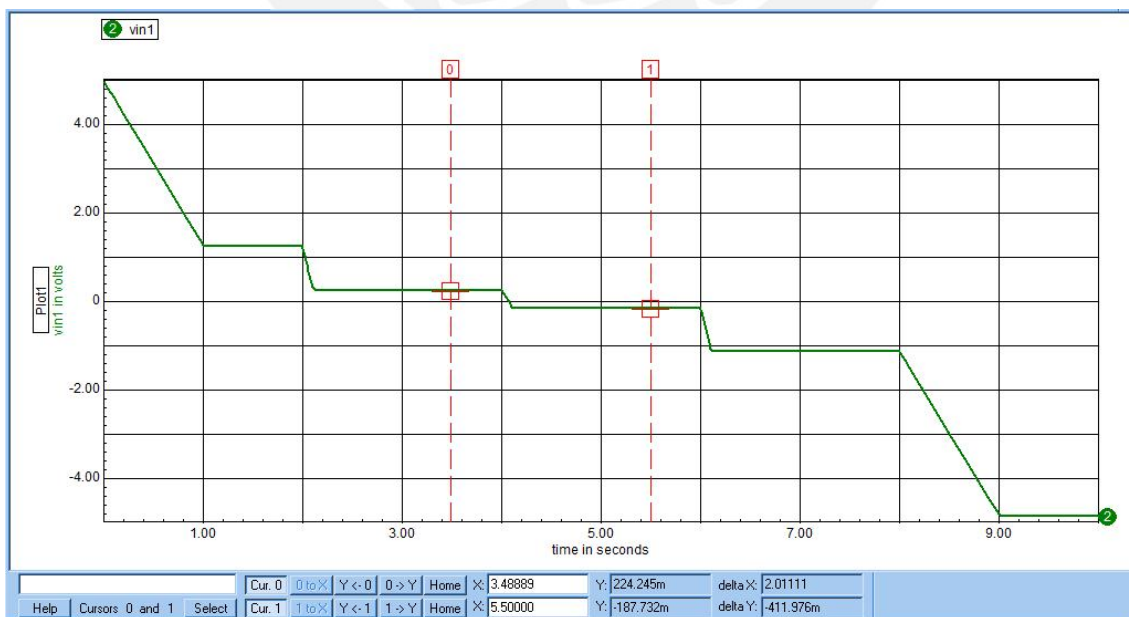


Fig.4.2 Voltaje Vin1 del nodo 1 en el circuito comparador de voltaje

En respuesta a VL tenemos la señal Vin1 sentido en el nodo 1 del circuito de Fig.3.10. La señal Vin1 se aprecia en Fig.4.2 y se verifica lo expuesto en Cdr.3.3, el OPAM LM358 queda protegido eléctricamente.

4.1.2. Simulación del detector del tren de pulsos de 16kHz

Como se aprecia en Fig.4.3 con $R1=1K\Omega$ en Fig.3.13 no se tiene gran atenuación a la onda de 16kHz ya que este filtro tiene una frecuencia de corte de 1.58kHz. Ahora para una señal telefónica como se muestra en Fig.4.4 (con el tren de pulsos de 16kHz montado) el filtro responde satisfactoriamente como se aprecia en Fig.4.5.

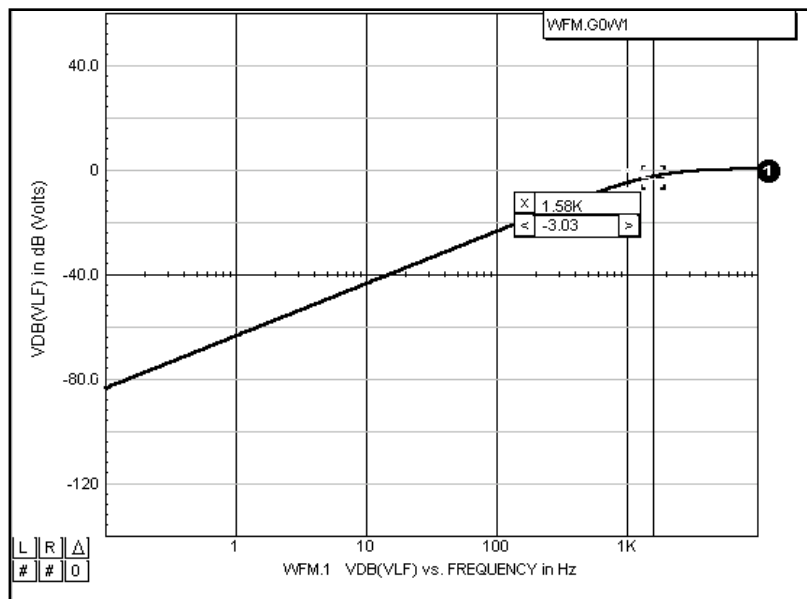


Fig.4.3 Diagrama de Bode de la señal VLf para $R1=1K\Omega$

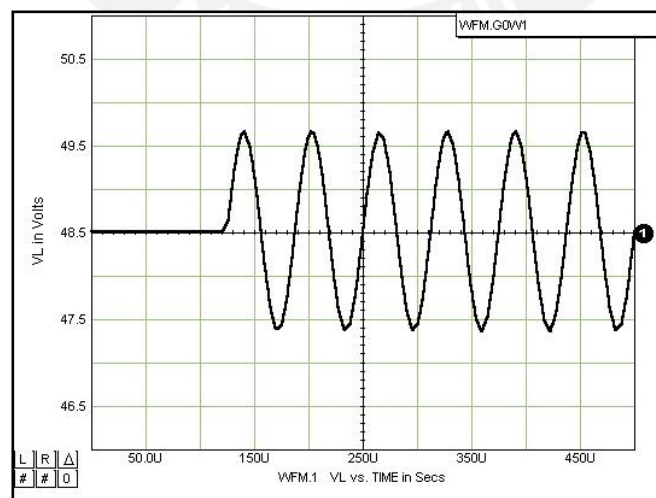


Fig.4.4 Señal VL para verificación del comportamiento del filtro de 16kHz

Con la señal de Fig.4.5 nuestro microcontrolador contará cuantos flancos de subida recibe en un tiempo de 0.0131072 segundos y si obtiene 209.7152 flancos sabrá que hay un tren de pulsos de 16000Hz. Hay que tener un rango de tolerancia por lo que se jugará con el número de flancos recibidos. Así afirmaremos la presencia de un tren de pulsos de 16kHz cuando se obtenga un número entre 196 y 223 (aproximadamente entre 15kHz y 17kHz).

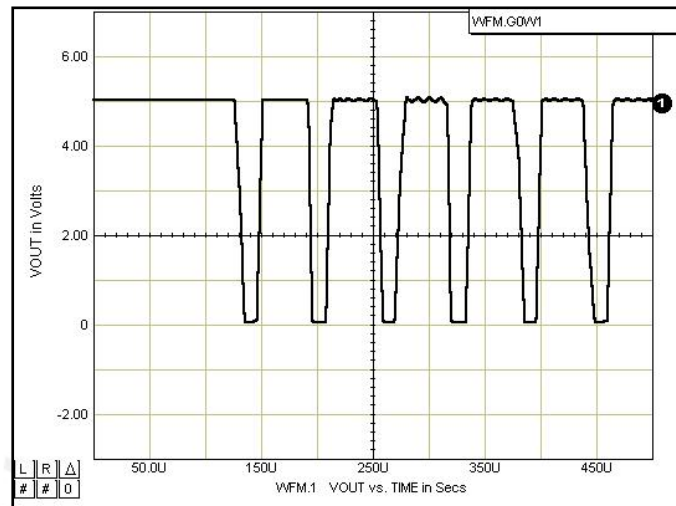


Fig.4.5 Señal de salida V_{out} del filtro de 16kHz para una entrada VL

4.1.3. Simulación del circuito actuador

Ya que en [20] no hay información del valor de la inductancia del relé se asumirá un valor posible de 1H.

Para la simulación del circuito del devanado se usará una aproximación de la señal que el microcontrolador proveerá, esta aproximación se aprecia en Fig.4.6.

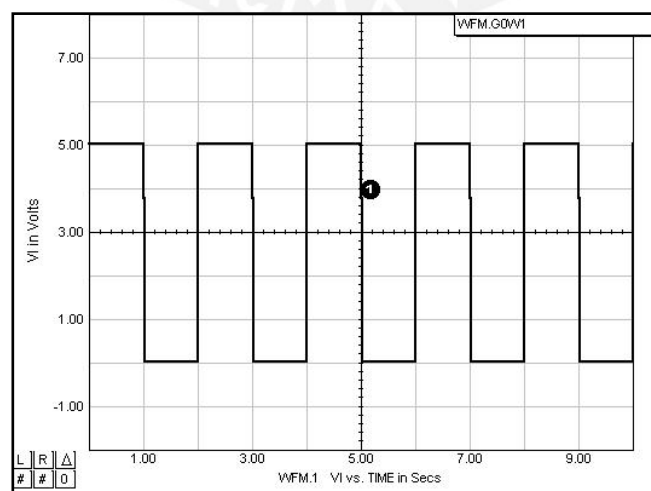


Fig.4.6 Señal de entrada V_i para el circuito del devanado del relé

En Fig.4.7 se aprecia la respuesta del transistor Q1 ante la entrada V_i de Fig.4.6, donde notamos que no se excede el límite del PN2222 ($V_{ce} < 40V$) y que sólo se llega a $V_{ce}=6V$.

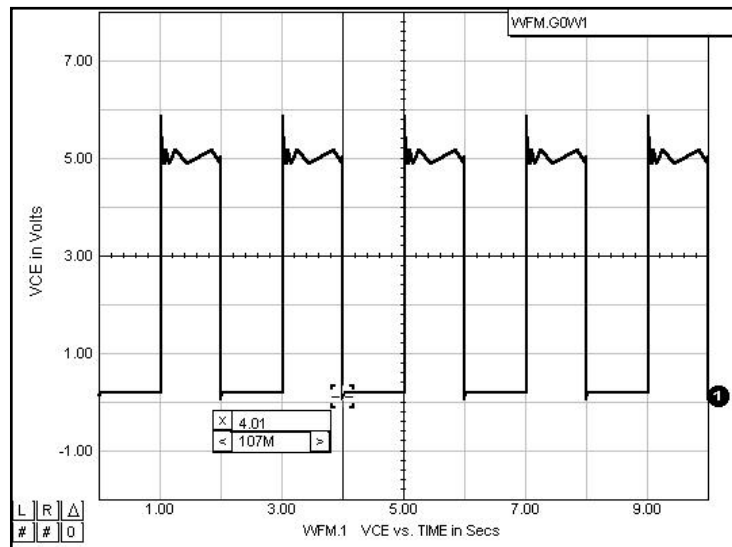


Fig.4.7 Señal de voltaje colector - emisor del transistor Q1

4.2.Pruebas Experimentales

Gran parte del diseño mostrado en este proyecto se concretó gracias a las pruebas experimentales. El diseño que mostramos en este proyecto ha sido producto de la depuración de diseños previos. Por tal muchos errores fueron ya superados y no se mostrarán en este capítulo. Podemos resumir estos errores en: falta de documentación confiable, se consideró que los cambios de estado de la llamada eran instantáneos y muchos de los cambios de estado no se verificaban.

Se implementaron un total de 3 tarifadores y se colocaron en un locutorio de una empresa dedicada a este negocio. El tiempo de prueba fue de un mes, donde la administradora del tarifador registro manualmente las llamadas en un libro de registro.

Notas:

- Todas estas pruebas se realizaron sobre tres líneas analógicas presuscritas a la empresa operadora.
- La empresa operadora sólo transporta llamadas de larga distancia, por lo que en sus CDR no aparecen las llamadas locales.
- Los tres tarifadores estaban programados para que no cobren llamadas menores a 5 segundos. Por eso estas llamadas no aparecen en el registro del tarifador.

Ahora comparemos ambos CDR. Sólo mostraremos un día por la enorme cantidad de llamadas. En Cdr.4.1 y Cdr.4.2 hemos colocado las llamadas del día 18/03/06 con las duraciones tanto de la empresa operadora y del tarifador.

FECHA	HORA	NUMEROA	NUMEROB	DURACION		Diferencia
				E. Operadora	Tarifador	
18/03/06	09:28:02	13715526	084251689	367	366	1
18/03/06	09:36:10	13715030	064544152	68	67	1
18/03/06	09:37:22	13715526	005622093955	841	842	-1
18/03/06	09:39:51	13715030	042530348	32	32	0
18/03/06	09:41:42	13715030	00541143008901	56	56	0
18/03/06	09:43:52	13715030	063720286	18	16	2
18/03/06	09:45:21	13715030	066311624	24	24	0
18/03/06	09:47:07	13715030	066340027	26	27	-1
18/03/06	09:48:37	13715030	063720286	87	87	0
18/03/06	09:50:38	13715030	064391183	220	221	-1
18/03/06	09:53:49	13715526	005622146394	915	916	-1
18/03/06	09:55:09	13715030	063720286	185	185	0
18/03/06	10:00:06	13715030	066340027	37	37	0
18/03/06	10:03:26	13715030	0055974611462	852	852	0
18/03/06	10:06:58	13715201	00393387011371	55	62	-7
18/03/06	10:08:38	13715201	066311624	235	233	2
18/03/06	10:22:29	13715030	064332167	207	205	2
18/03/06	10:31:24	13715526	064544152	61	60	1
18/03/06	10:52:09	13715030	064544152	108	108	0
18/03/06	11:03:52	13715030	044290120	230	230	0
18/03/06	11:20:11	13715526	061571425	183	184	-1
18/03/06	11:22:13	13715030	00393496828141	398	398	0
18/03/06	11:49:23	13715030	066340027	20	20	0
18/03/06	11:50:15	13715030	066340027	39	39	0
18/03/06	11:57:17	13715526	00573152801986	482	482	0
18/03/06	12:10:07	13715030	066340027	38	38	0
18/03/06	12:14:51	13715030	062491036	31	31	0
18/03/06	12:29:39	13715030	062491036	28	28	0
18/03/06	12:32:50	13715526	00390362852562	42	42	0
18/03/06	12:40:12	13715526	043351579	244	244	0
18/03/06	12:43:46	13715030	052721960	195	195	0
18/03/06	12:45:09	13715526	062491036	60	60	0
18/03/06	12:51:33	13715526	00541146742166	853	854	-1
18/03/06	13:04:15	13715030	064215925	74	74	0
18/03/06	13:06:26	13715030	062514769	18	18	0
18/03/06	13:08:37	13715030	052576709	111	111	0
18/03/06	14:12:57	13715030	0017185074817	100	99	1
18/03/06	14:14:18	13715526	064545894	118	119	-1
18/03/06	14:15:39	13715030	0017188944354	181	181	0
18/03/06	14:52:43	13715526	065222561	615	613	2
18/03/06	15:05:10	13715030	00390362852562	55	56	-1
18/03/06	15:20:49	13715030	0039062575514	140	138	2
18/03/06	15:23:31	13715201	00584164772452	133	140	-7

Cdr.4.1 Comparación de los registros de llamadas – Parte 1/2

FECHA	HORA	NUMEROA	NUMEROB	DURACION		Diferencia
				E. Operadora	Tarifador	
18/03/06	15:27:51	13715030	064802553	453	453	0
18/03/06	15:30:33	13715526	067758194	27	27	0
18/03/06	15:35:40	13715526	067758194	18	18	0
18/03/06	15:59:49	13715030	0034934280069	81	81	0
18/03/06	16:46:33	13715526	064232400	138	138	0
18/03/06	16:50:36	13715526	064232400	178	179	-1
18/03/06	16:55:45	13715526	005622439445	329	329	0
18/03/06	17:05:29	13715526	061571425	61	61	0
18/03/06	17:07:49	13715526	061571425	137	137	0
18/03/06	17:14:14	13715526	054467520	183	183	0
18/03/06	17:16:54	13715030	066311624	259	259	0
18/03/06	17:25:35	13715526	0034961188889	541	542	-1
18/03/06	17:34:51	13715030	00541147482891	1294	1294	0
18/03/06	17:53:12	13715526	062515143	33	33	0
18/03/06	17:57:06	13715526	062515143	252	252	0
18/03/06	17:58:07	13715030	005699478069	241	241	0
18/03/06	18:05:05	13715526	063701047	115	114	1
18/03/06	18:15:27	13715526	084251689	126	126	0
18/03/06	18:24:20	13715526	056213566	255	254	1
18/03/06	18:26:03	13715030	064322261	23	23	0
18/03/06	18:27:27	13715030	076576103	124	123	1
18/03/06	18:39:32	13715030	067822641	53	53	0
18/03/06	18:42:05	13715030	067822641	162	162	0
18/03/06	18:47:56	13715030	064321994	131	131	0
18/03/06	18:59:52	13715526	067822636	29	29	0
18/03/06	19:03:32	13715030	0034659819249	54	54	0
18/03/06	19:05:22	13715526	056213566	46	45	1
18/03/06	19:07:44	13715526	052576709	31	31	0
18/03/06	19:09:20	13715526	067822636	145	145	0
18/03/06	19:10:13	13715030	00542214897178	539	539	0
18/03/06	19:12:56	13715526	0649911279	318	318	0
18/03/06	19:15:23	13715201	064439338	630	630	0
18/03/06	19:19:48	13715526	00543424191138	2389	2389	0
18/03/06	19:23:06	13715030	005693802425	324	324	0
18/03/06	19:43:10	13715030	0649639213	53	53	0
18/03/06	19:46:32	13715030	064234008	33	33	0
18/03/06	19:49:08	13715030	063701108	357	356	1
18/03/06	19:58:28	13715030	042520263	20	20	0
18/03/06	19:59:41	13715030	064244650	300	300	0
18/03/06	20:03:54	13715526	064234008	117	117	0
18/03/06	20:22:09	13715526	043350051	240	240	0
18/03/06	20:24:07	13715030	042520231	1027	1027	0
18/03/06	20:27:42	13715201	042526805	262	263	-1
18/03/06	20:40:13	13715201	054200143	220	220	0
18/03/06	20:48:21	13715030	0015626211501	60	60	0
TOTAL				43601	43601	

Cdr.4.2 Comparación de los registros de llamadas – Parte 2/2

4.3.Resultados

En los ocho días de prueba se observó lo siguiente:

- Tanto el usuario como el operador eran capaces de ver la misma información en sus respectivas pantallas.
- Los usuarios no detectaron distorsión en la voz y rápidamente se familiarizaron con el formato de presentación de los datos en la pantalla.
- Ni el operador ni el usuario del locutorio detectaron errores en cuanto a la duración de la llamada que se mostraba en pantalla y por lo tanto tampoco en el costo cobrado.
- No se detectó errores en cuanto a cobrar con una tarifa incorrecta.
- El costo acumulado fue de gran ayuda para el operador, así él podía cobrar inmediatamente sin hacer uso de cálculos.
- El operador hizo uso de la deshabilitación de la línea cuando no se le usaba por tiempos prolongados o cuando deseaba reiniciar el costo acumulado para que entre un nuevo usuario.
- Hubo un promedio de 265 llamadas de larga distancia por cada tarifador en los ocho días de prueba.

Analizando las tablas Crd.4.1 y Cdr.4.2 podemos decir que:

- Se generó un total de 88 llamadas por las tres líneas (en un solo día).
- Las diferencias entre el tarifador y la empresa operadora se deben a que cada uno detecta la conexión y desconexión de la llamada en instantes distintos. La empresa operadora puede tener acceso a la información de la central llamada a diferencia del tarifador y entre la central llamante y la llamada pueden haber retardos que no serán detectados por el tarifador.
- El total de minutos de larga distancia registrado por los tarifadores es de 353.27 y el total de minutos de larga distancia registrado por la empresa operadora es 353.17. Dando una diferencia del 0.03%, lo que es aceptable pues en las conciliaciones de tráfico entre empresas operadoras se considera aceptable a valores menores al 2%.

Entonces podemos decir que las pruebas fueron un éxito en cuanto a lo funcional ya que la diferencia de tiempo es mínima, el costo cobrado es el correcto y tanto el operador como el usuario no sufrieron percances en el uso del tarifador.

4.4.Metrado

4.4.1. Inversión inicial

- Tiempo de diseño e implementación

A medio tiempo de trabajo diario el proyecto tomó 7 meses para obtener el primer prototipo, de los cuales un mes fue de pruebas experimentales. El segundo prototipo tomó 2 meses extra de pruebas experimentales. Este prototipo es el presentado en el presente trabajo de tesis.

- Costos de inventarios

Los costos de los componentes usados para cada módulo se presentan en las tablas Cdr.4.3 y Cdr.4.4. Los componentes de un tarifador cuestan un aproximado de S/.305.00.

- Gastos operativos
 - Mano de obra por soldado de componentes: S/.20.00 por tarifador.
 - Mano de obra por ensamblaje y pruebas: S/.30.00 por tarifador.

- Costos fijos

Los costos fijos se dieron en los 9 meses de investigación.

- Costo de mano de obra del diseñador en la etapa de diseño: S/.1000.00 dando un total de S/.9000.00.
- Gasto de energía eléctrica mensual de S/.30.00 dando un total de S/.270.00.
- Línea telefónica de prueba: S/.60.00 mensuales dando un total de S/.540.00.

- Cálculo de la inversión inicial

Recordemos que se construyeron tres tarifadores, entonces la inversión inicial se calcula así:

- Costos de inventarios para tres tarifadores: S/.915.00
- Gastos operativos para tres tarifadores: S/.150.00
- Costos fijos en los 9 meses: S/.9810.00

La inversión inicial fue de S/.10 875.00 en el año 2004.

4.4.2. Recuperación de la inversión

La investigación continuó en el 2005 y se implementó una versión de tarifador para varias líneas telefónicas. Esta nueva inversión se puede considerar como un mes extra de costos fijos y la construcción de 4 nuevos tarifadores al precio del prototipo, o sea $S/.1090 + S/.1420 = S/.2510.00$ en el 2005. Gracias a esta investigación se logró que el costo de inventarios disminuya a S/.250.00. El valor del gasto operativo se mantuvo a S/.50, en otras palabras hacer un nuevo tarifador cuesta ahora S/.300 o US\$ 100 al tipo de cambio de diciembre 2007.

En los tres años posteriores se vendieron tarifadores a clientes a un precio de S/.390 y se construyeron unidades para uso propio ahorrándose la compra de otras marcas que cuestan S/.660.00 por unidad.

En Cdr.4.5 se puede apreciar el flujo de efectivo generado por el presente proyecto, donde el Valor Actual Neto (VAN) en el 2004 es positivo a una tasa de retorno del 12% lo que nos asegura que el proyecto crea valor para la empresa. Nótese que no se consideró el efecto del impuesto a la renta para simplificar el cálculo.

Módulo Operador y Alimentación			
Cant	Descripción	C/U	Costo
1	Diodo 1N4004	S/.0.10	S/.0.10
1	Bornera de 2 pines	S/.0.70	S/.0.70
2	Condensador Cerámico 0.1u 100V	S/.0.15	S/.0.30
2	Resistencia 1/4W 3MΩ	S/.0.05	S/.0.10
2	Resistencia 1/4W 6.8Ω	S/.0.05	S/.0.10
3	Jumper de 2 pines	S/.0.20	S/.0.60
6	Transistor PN2222A	S/.0.30	S/.1.80
2	Condensador Electrolítico 2.2u 25V	S/.0.40	S/.0.80
2	Condensador Electrolítico 1u 16V	S/.0.40	S/.0.80
1	Regulador 7905	S/.1.20	S/.1.20
1	Regulador 7912	S/.1.50	S/.1.50
1	OPAM LM358N	S/.2.00	S/.2.00
1	Resistencia 1/2W 30kΩ	S/.0.05	S/.0.05
1	Resistencia 1/2W 3kΩ	S/.0.05	S/.0.05
3	Condensador Poliéster 0.1u 250V	S/.0.50	S/.1.50
2	Diodo Zener BZX55-C5V1	S/.0.30	S/.0.60
1	Resistencia 1/4W 62kΩ	S/.0.05	S/.0.05
1	Resistencia 1/4W 30kΩ	S/.0.05	S/.0.05
5	Resistencia 1/4W 5kΩ	S/.0.05	S/.0.25
1	Resistencia 1/4W 50kΩ	S/.0.05	S/.0.05
3	Resistencia 1/4W 1kΩ	S/.0.05	S/.0.15
2	Condensador Cerámico 22p	S/.0.15	S/.0.30
1	Cristal 20MHz	S/.2.00	S/.2.00
1	Resistencia 1/4W 10kΩ	S/.0.05	S/.0.05
1	Resistencia 1/4W 87kΩ	S/.0.05	S/.0.05
1	Transistor BC327	S/.0.30	S/.0.30
1	PIC16F877-20/P	S/.35.00	S/.35.00
1m	Hilo multifilar AWG24	S/.0.50	S/.0.50
1	Buffer 74HC245	S/.1.00	S/.1.00
1	Conector DB9 hembra para montaje	S/.1.00	S/.1.00
1	Header 1x10 pines	S/.1.50	S/.1.50
1	Potenciómetro trípode 10kΩ p/montaje	S/.0.50	S/.0.50
1	Jack RJ11 4 pines p/montaje	S/.1.00	S/.1.00
1	Relé HJR-21FF 6Vdc	S/.2.50	S/.2.50
1	Diodo 1N4148	S/.0.10	S/.0.10
1	Decodificador DTMF MT8870DE	S/.4.80	S/.4.80
1	Resistencia 1/4W 300kΩ	S/.0.05	S/.0.05
2	Resistencia 1/4W 100kΩ	S/.0.05	S/.0.10
1	Cristal 3.579545MHz	S/.1.60	S/.1.60
1	LCD 20x2 caracteres	S/.30.00	S/.30.00
1	Teclado Matricial 4X4	S/.16.00	S/.16.00
1	Socket 20x2	S/.0.80	S/.0.80
1	Socket 9x2	S/.0.40	S/.0.40
1	Socket 4x2	S/.0.30	S/.0.30
1	Socket 10x2	S/.0.60	S/.0.60
1	Circuito Impreso 2 caras 8.8x9.2 cm2	S/.35.00	S/.35.00
1	Caja de Fibra de Vidrio	S/.36.00	S/.36.00
TOTAL MÓDULO OPERADOR Y ALIMENTACIÓN			S/.184.20

Cdr.4.3 Costo Componentes Tarifador - Parte 1/2

Módulo remoto			
Cant	Descripción	C/U	Costo
1	LCD 20x2 caracteres Backlight	S/.60.00	S/.60.00
1	Resistencia 1/4W 15Ω	S/.0.05	S/.0.05
1	Potenciómetro trípode 10kΩ p/montaje	S/.0.50	S/.0.50
1	Jumper de 2 pines	S/.0.20	S/.0.20
1	Header de 2x8 pines	S/.2.50	S/.2.50
15cm	Cable 10 hilos multifilar	S/.0.50	S/.0.50
1	Conector DB9 macho aéreo	S/.1.00	S/.1.00
1	Circuito Impreso 2 caras 3.9x2.3 cm2	S/.6.00	S/.6.00
1	Caja de Fibra de Vidrio	S/.24.00	S/.24.00
Módulo Interfaz			
Cant	Descripción	C/U	Costo
1	MAX232	S/.3.00	S/.3.00
5	Condensador Electrolítico 1u 16V	S/.0.40	S/.2.00
1	Conector DB9 macho para montaje	S/.1.50	S/.1.50
1	Conector DB9 hembra para montaje	S/.1.50	S/.1.50
1	Circuito Impreso 1 cara 3.6x4 cm2	S/.6.00	S/.6.00
Módulo Transmisión			
Cant	Descripción	C/U	Costo
1	Conector DB9 macho aéreo	S/.1.00	S/.1.00
1	Conector DB9 hembra aéreo	S/.1.00	S/.1.00
10m	Cable 10 hilos multifilar	S/.10.00	S/.10.00
TOTAL TARIFADOR			S/.304.95

Cdr.4.4 Costo de Inventarios del Tarifador - Parte 2/2

	2004	2005	2006	2007
Unidades vendidas	0	4	8	16
Unidades ahorradas	0	8	18	14
Ventas	0	1560	3120	6240
Ahorro	0	5280	11880	9240
Costo inventarios	0	-3000	-6500	-7500
Gasto operativo	0	-600	-1300	-1500
Primera Inversión	-10875	0	0	0
Segunda Inversión	0	-2510	0	0
Flujo de Efectivo	-10875	730	7200	6480

VAN	S/.128.92
Tasa Retorno	12%

Cdr.4.5 Flujo de Efectivo del Proyecto

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Se logró responder a los objetivos planteados en 2.13.

- El diseño detecta la señalización de las líneas analógicas de las centrales telefónicas nacionales vistas en 2.10, ver 3.2.1.
- El diseño puede mostrar en tiempo real los eventos de una llamada telefónica su duración y costo tanto al operador como al usuario del locutorio, ver 3.1, 3.3 y 3.4.
- El costo de una llamada se asigna según dos parámetros: el número marcado y la duración de la llamada, ver 3.2.6.3.
- El diseño puede ejercer un control sobre la línea telefónica, ver 3.2.2.
- El diseño almacena tablas tarifarias para identificar los números marcados y bloquear los números que no pertenezcan a estas tablas, ver 3.2.6. Las tablas pueden ser editadas por el operador, ver 3.5.
- El diseño puede almacenar las llamadas telefónicas establecidas (ver 3.2.6.1) y descargarlas a una computadora personal (ver 3.5).
- Se logró utilizar la mínima cantidad posible de componentes, por tal el costo de venta es de US\$ 130 (ver 4.4.2) y es menor al de los otros tarifadores competentes como se aprecia en Cdr.5.1.

Marca	DISCAR	BONUS	SETTI
Nacionalidad	Argentina	Argentina	Colombia
Autónomo	No	No	No
Mantenimiento	Extranjero	Local	Local
Usa placas en la PC	Si	No	No
Precio Interfaz	US\$ 32.50	US\$ 150.00	US\$ 80.00
Precio de Placa	US\$ 346.60	-	-
Precio del Visor	US\$ 41.36	US\$ 220.00	US\$ 150.00

Cdr.5.1. Comparación de tarifadores de venta en Lima a diciembre del 2005

5.2.Recomendaciones

Recomendaciones para el prototipo presentado en este proyecto:

- Es necesario el uso de un registro manual para almacenar la notable cantidad de llamadas al día. Pero esto no nos asegura que el operador del locutorio apunte todas las llamadas realizadas.
- Se debe verificar con cierta frecuencia la polarización de la línea telefónica en la central telefónica pues si cambia puede desorientar al tarifador y éste al encenderse puede detectar la reversión de polaridad.
- La ausencia de voltaje en la línea telefónica puede confundir al operador ya que el tarifador no lo detecta. Por tal se diseñó el circuito de Fig.5.1 con el cual la etapa de reconocimiento tendrá un bit más que le permitirá detectar si el voltaje de colgado está entre $+0.5V$ y $-3.65V$. Este circuito aparece conectado al diseño en Fig.3.27.

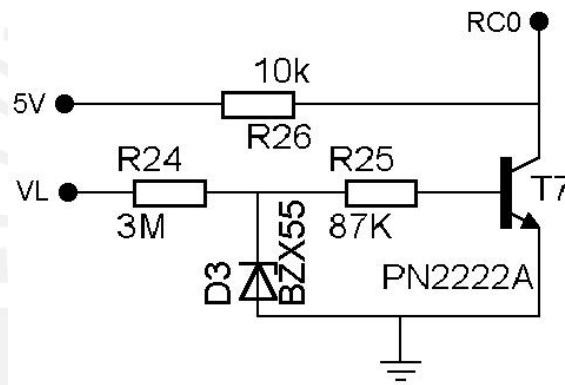


Fig.5.1 Circuito Detector de Ausencia de Línea

- Mantener una separación de por lo menos 5cm entre el cableado eléctrico (alimentación o telefónico) y el cable de transmisión del tarifador, para evitar inducción no deseada que afecte al LCD del módulo remoto.
- El cable de transmisión que conecta los módulos: remoto y operador no debe superar los 10m.
- Al actualizar las tablas mediante el módulo interfaz la línea telefónica no puede estar conectada al tarifador pues la central telefónica y el computador están a distintas referencias. Además la referencia del tarifador no es la referencia del toma corriente.
- Al colgar casi nunca se hace en el momento exacto en que comienza un nuevo segundo en la duración de la llamada y añadiendo que el tarifador en un principio sólo contaba los segundos que hayan transcurrido en su totalidad y descartaba toda fracción de segundo, ocurría que casi siempre en la duración de la llamada el tarifador reportaba un segundo menos que la duración reportada por la empresa operadora. Esto se corrigió asumiendo que: si el colgado ocurre

en una duración de X segundos y fracción, donde la fracción es mayor a $\frac{1}{4}$ entonces la duración de la llamada será X+1 segundos.

- En locutorios donde se use más de un tarifador se recomienda que cada uno tenga su propio adaptador AC/DC. Ya que el unir referencias podría sobrecalentar los reguladores de voltaje.
- Para proteger el LCD del módulo remoto y mejorar la transmisión de datos se debería colocar un buffer 74HC245 entre el cable de transmisión PORT_LCDR y el LCD en Fig.3.19.
- Ya que el conector RJ11 para montaje es escaso en el mercado nacional se podrían cambiar por dos borneras de dos terminales cada una (ver Fig.3.15). Así una bornera sería para el teléfono y la otra para la línea telefónica facilitando más aún la instalación del tarifador.
- El teclado matricial también es escaso por lo que se puede reemplazar por un arreglo de pulsadores como se ve en Fig.5.2. El cual se puede conectar con la misma interfaz del teclado y el código fuente para manejar este arreglo es mucho más simple que el del teclado matricial.

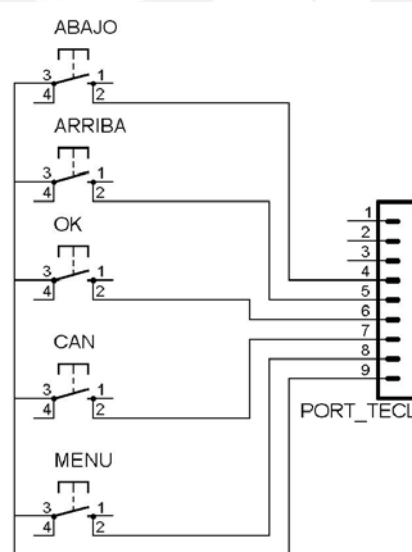


Fig.5.2 Arreglo de pulsadores para interfaz humana de entrada

- Puede usarse el PIC16F877A en reemplazo del PIC16F877 modificándose la rutina de grabación de la memoria de programa, ver 3.2.6.1.

Recomendaciones que se tomaron en cuenta para la nueva versión del tarifador:

- Ampliar el tamaño de un número identificador en la tabla de números identificadores a tres dígitos y ya no dos. Estos tres dígitos seguirán ocupando un word de la memoria de programa del PIC16F877 (ver 3.2.6).

- El problema de conectar las referencias: del computador, el tarifador y la línea telefónica se puede solucionar si aislamos la línea telefónica. Una solución es que los sensores midan la intensidad de corriente y ya no el voltaje de la línea telefónica. Mediante un arreglo de opto aisladores podemos medir la corriente de la línea cuando hay carga (descolgado) y cuando no lo hay (colgado) así como su sentido (señal de tarifación). También se lograría la independencia del sentido de la polaridad a la que se instala el tarifador, porque al encenderse el tarifador automáticamente puede medir el sentido de la corriente y saber que ese sentido es el de colgado y el sentido contrario es el de tarifación.
- El detector de señales DTMF debería estar aislado de la línea telefónica, esto se puede lograr con un transformador de aislamiento. Un devanado de este transformador se podría colocar en serie a la carga del teléfono y el otro devanado a nuestro circuito detector DTMF. Pero este arreglo varía la impedancia del teléfono y daña la calidad de la llamada. Otro arreglo que no tiene este problema es conectar un devanado del transformador en paralelo a la carga del teléfono y el otro devanado a nuestro detector DTMF.
- Para poder usar sólo un adaptador AC/DC para un conjunto de tarifadores se debe modificar la etapa de alimentación. Como ya no se usarán OPAMs no es necesaria la alimentación negativa y podremos usar el CI 7805 envés del 7905. Así la referencia del adaptador AC/DC es la misma referencia del tarifador.
- El problema de no poder almacenar un listado de llamadas extenso y la necesidad de usar un registro manual se superaría si concentráramos toda la información de los tarifadores en un solo punto. Lo más fácil es usar un computador para esto, pero para que sustente el gasto se debe pensar en una red de tarifadores de más de 3. Lograríamos además tener CDRs de mayor calidad informativa y unas tablas tarifarias más extensas.
- Para usar una red de tarifadores será necesario usar una norma serial que permita transmitir datos a larga distancia (como la RS485). Todos estos tarifadores podrían concentrar sus cables en una interfaz que transforme las señales a la norma RS232 y así poder conectarse al computador
- Por último se puede plantear una futura implementación, el diseño de un tarifador IP. Ya que el protocolo SIP se ha difundido mucho han aumentado las aplicaciones compatibles a él y hoy en día existen gateways terminales que proporcionan información en forma de cliente – servidor donde esta información contiene datos de las llamadas que se están cursando. Este servidor puede ser el computador que usa el administrador del locutorio y sólo faltaría implementar un tarifador que rescate esta información y presente al usuario del locutorio. El costo de implementación del tarifador IP sería mucho menor al logrado en este proyecto.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, “Plan Técnico Fundamental de Señalización”, 17/06/2003, ver.1.3, <http://www.mtc.gob.pe>
- [2] Ericsson S.A., “LZTE 501 259 P1A - Parte de Transferencia de Mensajes”, junio 1993.
- [3] ITU-T, “Q.700”, marzo 1993, ver.1.2, <http://www.itu.int>
- [4] IEC, “Voice over Internet Protocol”, 24/10/2002, ver.1.4, <http://www.iec.org>
- [5] Cisco Systems, Inc., “Guía del Primer Año – CCNA® 1 y 2”, Pearson Educación, S.A., Tercera Edición, 2004.
- [6] Cisco Systems, Inc., “Configuring Voice over IP for the Cisco 3600 Series”, 17/01/2003, ver.1.2, <http://www.cisco.com>
- [7] IEC, “H323”, 06/09/2000, ver.1.3, <http://www.iec.org>
- [8] Cisco Systems, Inc., “Guide to Cisco Systems’ VoIP - Infrastructure Solution for SIP”, 30/05/2002, ver.1.0, <http://www.cisco.com>
- [9] ETSI, “ETSI EG 201 188”, enero 2000, ver.1.2.1, <http://www.etsi.org>
- [10] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, “RM-859-2004-MTC/03”, 23/11/2004, ver.1.0, <http://www.mtc.gob.pe>
- [11] ITU-T, “Q.23”, noviembre 1988, ver.1.2, <http://www.itu.int>
- [12] ITU-T, “G.100”, febrero 2001, ver.1.3, <http://www.itu.int>
- [13] Belgacom, “BGC_D_48_9811_30_08_E - 16 kHz Charge Event Notification”, 10/02/2003, ver.1.3, <http://www.belgacom.be>
- [14] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, “RM-204-2005-MTC”, 13/04/2005, ver.1.0, <http://www.mtc.gob.pe>
- [15] Cisco Systems, Inc., “Cisco Media Gateway Controller Software Release 7 Reference Guide”, 05/04/2000, ver.1.3, <http://www.cisco.com>
- [16] STMicroelectronics, “Low Power Dual Operational Amplifiers LM158,A-LM258,A-LM358,A”, 16/01/2002, ver.1, <http://www.st.com>
- [17] James W. Nilsson, “Circuitos Eléctricos”, Addison-Wesley Iberoamericana, Cuarta Edición, 1995.

- [18] Clare, Inc., “M-8870 DTMF Receiver”, 26/07/2001, ver.1, <http://www.clare.com>
- [19] Fairchild Semiconductor Corporation, “PN2222A - NPN General Purpose Amplifier”, 03/11/1997, ver.1, <http://www.fairchildsemi.com>
- [20] Ningbo Tianbo Ganglian Electronics Co., Ltd, “HJR-21FF Specification”, 25/06/2004, ver.1, <http://www.tianbo-relay.com>
- [21] Crystalfontz America, Inc., “CFAH1602C-YYH-JPV”, 28/05/2002, ver.1, <http://www.crystalfontz.com>
- [22] Microchip Technology Inc., “PIC16F87X Data Sheet – 28/40-Pin 8-bit CMOS FLASH Microcontrollers”, 15/11/1999, ver.1, <http://www.microchip.com>
- [23] Polytronix, Inc., “Polytronix / Picvue Product Catalog”, 29/02/2000, ver.1, <http://www.polytronix.com>
- [24] Microchip Technology Inc., “PIC16F87XA Data Sheet – 28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers”, 28/10/2003, ver.1.4, <http://www.microchip.com>
- [25] Ministerio de Transportes y Comunicaciones, “Plan Técnico Fundamental de Numeración”, 11/12/2002, ver.1.2, <http://www.mtc.gob.pe>
- [26] John F. Wakerly, “Diseño Digital Principios y Prácticas”, Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A., Primera Edición, 1992.
- [27] Philips Semiconductors, “74HC/HCT245 Octal bus transceiver; 3-state”, Setiembre 1993, ver.1.4, <http://www.datasheetcatalog.com>
- [28] W. Stallings, “Comunicaciones y Redes de Computadores”, Prentice-Hall, Quinta Edición, 1997.
- [29] Maxim Integrated Products, “MAXIM +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers”, Agosto 2001, ver.1.2, <http://www.maxim-ic.com>
- [30] Microchip Technology Inc., “AN730 CRC Generating and Checking”, 20/05/2000, ver.1.3, <http://www.microchip.com>
- [31] STMicroelectronics, “L7900 SERIES”, 2/11/1999, ver.1.2, <http://www.st.com>
- [32] Fairchild Semiconductor Corporation, “1N4001 - 1N4007”, 10/04/2003, ver.1.4, <http://www.fairchildsemi.com>
- [33] Philips Semiconductors, “BC327 PNP general purpose transistor”, 15/04/1997, ver.1, <http://www.philips.com>
- [34] Philips Semiconductors, “BZX55 series Voltage regulator diodes”, 26/04/1996, ver.1, <http://www.philips.com>

[35] Belgacom, “BGC_D_48_9807_30_02_E - Analog Subscriber Line Signalling (Basic Call)”, 24/01/2003, ver.4.1, <http://www.belgacom.be>

[36] Belgacom, “BGC_D_48_9807_30_04_E - Information Tones”, 10/04/2003, ver.1.3, <http://www.belgacom.be>

[37] ETSI, “ETR 206”, septiembre 1995, ver.1.3, <http://www.etsi.org>



7. ANEXOS

[1] Christian Palma Palacios, “LCDTES1.INC”, 12/08/04, ver.1

[2] Christian Palma Palacios, “TECTES1.INC”, 12/08/04, ver.1

