



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

SISTEMA DE MEDICIÓN REMOTA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

TESIS

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

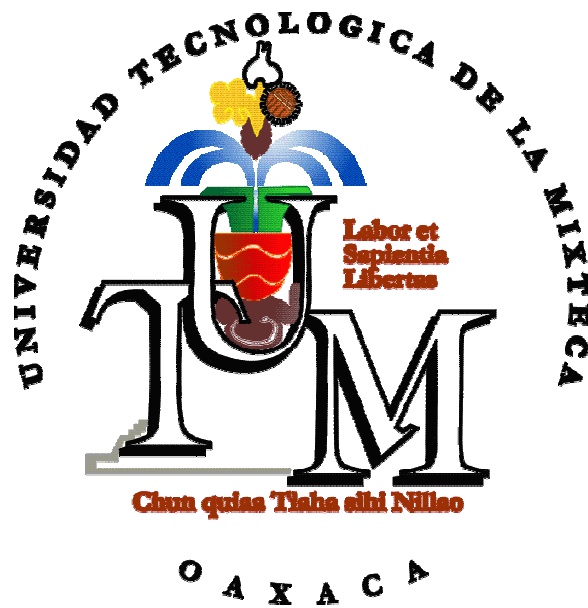
PRESENTA:

HÉCTOR MANUEL ESPINOSA RAMÍREZ

DIRECTOR DE TESIS:

M.C. JOSÉ ANTONIO MORENO ESPINOSA

HUAJUAPAN DE LEÓN, OAXACA, NOVIEMBRE DE 2007.



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA
SISTEMA DE MEDICIÓN REMOTA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

TESIS

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

PRESENTA:

HÉCTOR MANUEL ESPINOSA RAMÍREZ

DIRECTOR DE TESIS:

M.C. JOSÉ ANTONIO MORENO ESPINOSA

HUAJUAPAN DE LEÓN, OAXACA, NOVIEMBRE DE 2007.

Tesis presentada el 16 de Noviembre de 2007 ante los siguientes sinodales:

M.C. Maribel Tello Bello
M.C. Esteban Osvlado Guerrero Ramírez
M.C. Fermín Hugo Ramírez Leyva

Bajo la dirección de:

M.C. José Antonio Moreno Espinosa

Dedicatoria

El presente trabajo de tesis, esta dedicado con especial afecto y profundo agradecimiento a las personas que siempre me han apoyado en todo momento y que no dudo lo seguirán haciendo por siempre.

A MIS PADRES:

María del Carmen y Héctor

Como ejemplo de amor, unión, perseverancia y humildad.

A MIS HERMANAS:

Laura, María Angélica, Brenda y Mayte

A MI ESPOSA E HIJA:

Alma Roció y Hannia

Héctor Manuel.

Especial agradecimiento

Al M.C. José Antonio Moreno Espinosa, por su incansable apoyo desde el punto de partida, hasta la conclusión del presente trabajo, por brindarme sus conocimientos, experiencias, enseñanzas y su amistad.

Sinceramente

Héctor Manuel.

Agradecimientos

Porque el espacio es breve para todo lo que en verdad quisiera expresarles, reciban estas palabras de agradecimiento por todas las atenciones que he recibido de ustedes.

A Dios por permitirme tener una gran familia.

A mis Padres y hermanas que sigamos unidos como siempre.

A mi esposa y mi pequeña hija Hannia, por la motivación adicional para formar ahora nuestra familia.

A la familia Cruz Flores, por permitirme formar parte de ustedes.

A los ingenieros de los Departamentos de Telecomunicaciones y Control de Comisión Federal de Electricidad División Sureste, por pertenecer a este gran equipo humano. Especialmente para el ing. Mario Fernando Cosmes, Jefe del Departamento de Telecomunicaciones, por las facilidades brindadas, que resultaron de vital importancia para la consolidación de este trabajo de tesis. También al ing. Héctor Daniel Alfaro Pérez, Jefe de la Oficina de Proyectos en electrónica, por el trabajo en equipo realizado para desarrollar el Sistema de medición remota de energía eléctrica.

A mis profesores por los conocimientos teóricos y prácticos que amablemente me brindaron durante mi estancia en esta gran institución educativa, por su esfuerzo por brindar día a día una preparación con alto sentido humano y profesional.

A los compañeros de escuela por compartir sin duda alguna las mejores etapas de nuestras vidas, durante nuestra formación educativa, especialmente: M.C. Heriberto Hernández Martínez, Ing. Alfredo Higuera Cortes, M.C. Alejandro Ramírez González.

Para todas las personas que han contribuido en mi formación humana y profesional, con un consejo, palabras de aliento, motivación, un buen ejemplo, enseñanzas, vivencias personales, y por que no también una observación o un regaño, sirva este espacio para agradecerles infinitamente ese tiempo que destinaron y que ha sido fundamental para alcanzar hoy, este significativo logro.

Por siempre Gracias

Héctor Manuel.

Índice general

Índice general.....	xi
Índice de figuras.....	xv
Índice de tablas.....	xvii
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN	
1.1 Descripción.....	1
1.2 Justificación.....	3
1.3 Objetivos.....	3
CAPÍTULO 2 INFORMACIÓN PRELIMINAR	
2.1 La red eléctrica como medio de transmisión.....	5
2.1.1 La red eléctrica y las ondas portadoras.....	5
2.1.2 Impedancia de la línea de energía eléctrica.....	6
2.1.3 Ruido en la red eléctrica.....	7
2.1.4 Ventajas de las comunicaciones por línea de energía eléctrica.....	8
2.2 Arquitecturas de comunicación.....	8
2.2.1 Modelo Centralizado.....	9
2.2.2 Modelo Descentralizado.....	9
2.2.3 Modelo Distribuido.....	9
2.3 Modulación.....	9
2.3.1 Modulación ASK.....	10
2.3.2 Modulación FSK.....	10

2.3.2	Modulación PSK.....	11
2.4	Métodos de transmisión de datos.....	11
2.5	Protocolos de comunicación.....	12
2.5.1	Protocolo de barrido constante.....	12
2.5.2	Protocolo por reporte por excepción.....	12
2.6	Descripción técnica del medidor de energía eléctrica o wathorímetro.....	12
2.6.1	Calibración del medidor.....	16
2.7	Procedimiento de toma de lecturas del consumo de energía eléctrica.....	16
CAPÍTULO 3 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE MEDICIÓN REMOTA		
3.1	Esquema general de sistemas de medición.....	19
3.1.1	Instalaciones de medición.....	20
3.1.2	Medios de comunicación.....	21
3.1.3	Centros de Control.....	21
3.2	Esquema propuesto para el sistema de medición remota de energía eléctrica.....	22
CAPÍTULO 4 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN		
4.1	Medidor.....	28
4.1.1	Fuente de voltaje de CD.....	30
4.1.2	Sensor óptico.....	31
4.1.3	Interfase de acoplamiento a la línea de energía eléctrica.....	33
4.1.4	Etapa de transmisión.....	35
4.1.5	Etapa de recepción.....	36
4.1.6	Microcontrolador.....	38
4.1.7	Ensamble e instalación de la tarjeta electrónica del medidor... ..	40
4.2	Concentrador de datos de medición.....	43
4.2.1	Módulo electrónico principal.....	44
4.2.2	Etapa de transmisión y recepción.....	45
4.2.3	Interfase de línea de energía.....	45
4.2.4	Microcontrolador.....	46
4.2.5	Puerto de comunicación serial.....	49
4.2.6	Fuente de voltaje y respaldo de energía.....	49
4.3	Enlace de radiocomunicación de datos.....	50
4.3.1	Equipo módem.....	51
4.3.2	Equipo de radiocomunicación.....	52
4.3.3	Ensamble del concentrador de datos.....	55
4.4	Estación central.....	56
CAPÍTULO 5 PUESTA EN SERVICIO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN		
5.1	Revisión y ajuste en laboratorio.....	59
5.1.1	Revisión y ajuste de los medidores y concentrador de datos.....	60
5.1.2	Revisión y ajuste del equipo de comunicación de la estación central y concentrador de datos.....	60
5.1.3	Pruebas en laboratorio de medidores, concentrador y estación central.....	61

5.2 puesta en servicio del sistema de medición.....	62
5.2.1 Características de la infraestructura eléctrica de baja tensión..	62
5.2.2 Instalación y puesta en servicio del concentrador de datos.....	64
5.2.3 Instalación y puesta en servicio de los medidores.....	65
CAPÍTULO 6 RESULTADOS OBTENIDOS	
6.1 Pruebas y resultados de campo.....	70
6.1.1 Funcionamiento del sensor óptico.....	70
6.1.2 Pruebas y resultados del funcionamiento del canal de comunicación vía red eléctrica.....	71
6.1.3 Pruebas y resultados del funcionamiento del canal de radiocomunicación.....	73
6.2 Pruebas y resultados obtenidos en la estación central.....	74
6.2.1 Balance de energía en un transformador de energía eléctrica.	75
6.2.2 Análisis de demanda diaria en un transformador de distribución.....	76
CAPÍTULO 7 CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS	
7.1 Conclusiones.....	78
7.2 Nuevas aplicaciones con la información obtenida.....	79
7.2.1 Detección de servicios de energía eléctrica ilícitos.....	79
7.3 Perspectivas.....	80
BIBLIOGRAFÍA.....	81
ANEXO A.....	83

Índice de figuras

Figura 2.1	Modulación ASK.....	10
Figura 2.2	Modulación FSK.....	10
Figura 2.3	Modulación PSK.....	11
Figura 2.4	Elementos que integran un wathhorímetro.....	14
Figura 2.5	Constantes Kh y Rr impresas en placa de datos de medidor.....	16
Figura 2.6	Ejemplo para obtener la lectura de un medidor.....	17
Figura 3.1	Esquema típico de un sistema de medición de energía eléctrica a distancia.....	20
Figura 3.2	Esquema general del sistema de medición.....	23
Figura 3.3	Esquema de comunicación del sistema de medición Remota.....	24
Figura 3.4	Secuencia de barrido entre concentrador y medidores.....	25
Figura 4.1	Diagrama de bloques de la tarjeta electrónica del medidor.....	29
Figura 4.2	Diagrama de la fuente de alimentación.....	30
Figura 4.3	Diagrama electrónico del sensor óptico.....	32
Figura 4.4	Señales de la etapa del sensor óptico.....	32
Figura 4.5	Construcción interna y características del transformador T1002N.....	33
Figura 4.6	Diagrama de la interfase de acoplamiento a la línea de energía eléctrica.....	34
Figura 4.7	Diagrama del circuito de la etapa de transmisión.....	36
Figura 4.8	Respuesta del circuito LM567.....	37
Figura 4.9	Diagrama del circuito decodificador de tonos.....	37
Figura 4.10	Diagrama de flujo de rutinas de programación del medidor.....	40

Figura 4.11	Instalación de tarjeta electrónica en medidor electromecánico.....	42
Figura 4.12	Diagrama a bloques del concentrador de datos de medición.....	43
Figura 4.13	Diagrama de bloques del concentrador de datos.....	44
Figura 4.14	Interfase a línea de energía del concentrador de datos.....	45
Figura 4.15	Diagrama de flujo de las rutinas de programación del concentrador.....	48
Figura 4.16	Diagrama del circuito RS-232.....	49
Figura 4.17	Diagrama a bloques de enlace radiocomunicación de datos.....	50
Figura 4.18	Equipo de radiocomunicación móvil y antena VHF.....	53
Figura 4.19	Diagrama de conexiones y señales del módem y radio.....	54
Figura 4.20	Instalación en gabinete de las partes que integran el concentrador de datos.....	55
Figura 4.21	Diagrama de bloques de la estación central.....	57
Figura 4.22	Pantalla de la estación central del comando leer medidor individual.....	57
Figura 5.1	Tablero de pruebas de laboratorio de medidores y concentrador.....	61
Figura 5.2	Diagrama de la unidad habitacional para la instalación de medidores y concentrador de datos.....	63
Figura 5.3	Instalación de concentrador en poste.....	65
Figura 5.4	Medidores instalados en viviendas de la unidad habitacional.....	67
Figura 6.1	Ruido tipo impulsivo detectado en la etapa de recepción...	72
Figura 6.2	Ruido de señal continua detectado en la etapa de recepción.....	72
Figura 6.3	Radio-módem y antena UHF 900 MHz.....	73
Figura 6.4	Grafica de demanda de energía eléctrica en una fase del transformador.....	76

Índice de tablas

Tabla 4.1	Características generales equipo de radio Radius M130 Motorola®.....	52
Tabla 6.1	Valores de lecturas obtenidas con el sistema de medición y por un lectorista.....	74

1

Introducción

1.1 Descripción

El proyecto para realizar la medición remota de energía eléctrica, consiste en obtener, almacenar y transmitir la medición del consumo de energía eléctrica, mediante la utilización de los medidores electromecánicos instalados actualmente en la mayoría de los domicilios de los usuarios, a un punto central.

La Comisión Federal de Electricidad como organismo que tiene las funciones de generar, transmitir, distribuir y comercializar el servicio de energía eléctrica en México, es el principal promotor del sistema de medición remota de energía eléctrica, el cual está enfocado a mejorar sustancialmente los métodos de trabajo tradicional, proporcionando las herramientas de gestión de información para la toma de decisiones, que permita realizar los procesos asociados a la medición de manera mas eficiente.

En este trabajo se considera solo un procedimiento de varios que componen el proceso de facturación, éste es la toma de lecturas del consumo de energía eléctrica de cada uno de sus clientes.

El procedimiento tradicional para realizar la medición del consumo de energía eléctrica, se realiza mediante la visita al lugar donde se encuentra instalado físicamente el medidor. Un trabajador o lectorista, mediante la observación de las carátulas del medidor determina el valor del consumo de energía eléctrica. Posteriormente esta información junto con la de otros medidores se almacena en una terminal electrónica portátil, trasladando estos datos a la computadora central, donde será procesada la información para finalmente emitir el recibo de pago correspondiente.

Con la aplicación de este proyecto se pretende realizar una mejora sustancial al procedimiento tradicional de medición del consumo de energía eléctrica, al sustituir las funciones que realiza el personal dedicado a esta actividad, evitando realizar el traslado al lugar donde se encuentran instalados los medidores, cada vez que sea requerida esta información.

Lo anterior es posible mediante el diseño, construcción e instalación de una tarjeta de circuitos electrónicos, para incorporarla a un medidor tipo electromecánico, que incluye las funciones para determinar las revoluciones del disco del medidor, mediante el cual se registra el consumo de energía eléctrica en unidades de kilowatthoras. El valor obtenido se almacena en un dispositivo electrónico que asegure la permanencia de la información aun en caso de ausencia de energía eléctrica; posteriormente se requiere que esta información sea enviada a través del mismo cableado de energía eléctrica a un concentrador de datos, aplicando los principios de comunicación de datos en líneas de energía eléctrica, con la finalidad de aprovechar la infraestructura de la red eléctrica instalada.

El concentrador de datos es el encargado de almacenar la información de todos los medidores conectados a la misma red de suministro eléctrico de baja tensión, y posteriormente envía los datos a la estación central. De esta forma el concentrador dispone de dos canales de comunicación, uno para mantener comunicación con los medidores vía red eléctrica y otro para enviar la información a la computadora central, mediante la utilización de un enlace de radiocomunicación de datos.

La estación central localizada a varios kilómetros de distancia del punto de medición, recibe la información de los medidores permitiendo de esta forma emitir los recibos de facturación correspondientes.

1.2 Justificación

Debido a las diversas problemáticas observadas durante la realización de las actividades que involucra el procedimiento de toma de lecturas del consumo de energía eléctrica, en las poblaciones urbanas y rurales del estado de Oaxaca; entre las que destaca el complicado acceso y desplazamiento al lugar de medición, así como los tiempos prolongados destinados a esta actividad por parte de los trabajadores o lecturistas. Surge la necesidad de desarrollar y aplicar un sistema de medición remota de energía eléctrica, que permita obtener lecturas del consumo eléctrico en forma fácil, rápida, precisa y a distancia, agilizando el procesamiento de la información y facturación correspondiente, mediante la aplicación de los conocimientos y técnicas del área de electrónica, telecomunicaciones e informática.

Debido a que el sistema de medición remota de energía eléctrica, realiza la toma de lecturas sin requerir la intervención de un trabajador, su aplicación resulta en un menor costo y una mayor fiabilidad al obtener la información de la medición. Por lo anterior el Departamento de Telecomunicaciones de C.F.E. División Sureste apoya el diseño, implementación y aplicación del mismo.

1.3 Objetivo

El objetivo general de este trabajo es el diseño, implementación y aplicación del hardware del sistema de medición remota de energía eléctrica.

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Diseño y construcción de una tarjeta electrónica para convertir los giros del disco en valores digitales.
- Transmisión de información digital, vía red eléctrica, entre el medidor y un concentrador de datos.
- Diseño y construcción de un concentrador de datos, destinado a reunir la información de los medidores instalados en una red de baja tensión, mediante enlaces efectuados a través de la misma línea de energía eléctrica,
- Transmisión de la información del concentrador de datos a la estación central, utilizando un enlace de comunicación radioeléctrico punto a punto.

2

Información preliminar

2.1 LA RED ELECTRICA COMO MEDIO DE TRANSMISIÓN

En todos los sistemas de comunicación es necesario el uso de un medio físico de transporte, del que dependerá en gran medida la buena calidad de la transmisión de datos. Este medio de transporte es el encargado de que la información pueda transferirse de un dispositivo a otro.

Cada medio de transmisión tiene características intrínsecas que lo hacen más óptimo que otros para determinadas aplicaciones. Es utilizado ampliamente el cable coaxial, UTP, fibra óptica, o medios inalámbricos como microondas y radiofrecuencia, así como también la red eléctrica.

2.1.1 La red eléctrica y las ondas portadoras

Sin lugar a dudas la red de distribución de energía eléctrica no ha sido diseñada para la transmisión de información, un antecedente importante se presentó a partir de 1940 cuando muchas compañías eléctricas instalaron equipos OPLAT (Onda Portadora por Línea de Alta Tensión) en cableados de

115 y 230 Kvolts. Sin embargo, los problemas de inestabilidad presentes en la red eléctrica, variación de la impedancia y ruido, así como la falta de una normatividad que regule este tipo de transmisiones, son limitantes suficientes por la cual esta tecnología no ha tenido el avance esperado.

Aun así, actualmente gracias a la apertura de la competencia de servicios de energía eléctrica a nivel mundial, muchas compañías están desarrollando proyectos en redes eléctricas de baja tensión para ofrecer servicios de acceso a Internet, telefonía y señal de televisión. En México se tiene poco avance sobre el tema, empresas como C.F.E. y el Instituto de Investigaciones Eléctricas están realizando trabajos de investigación y desarrollo de proyectos, encaminados a ofrecer servicios adicionales a la energía eléctrica.

El principio de la comunicación por ondas portadoras en líneas de energía o por sus siglas en inglés PLC (Power Line Carrier), se basa en inyectar una señal de información codificada de baja potencia y con frecuencia superior a 60 Hz presentes en la red eléctrica, de tal forma que cualquier equipo provisto de comunicación PLC pueda decodificar la información presente en la línea.

2.1.2 Impedancia de la línea de energía eléctrica

Las bajas impedancias de algunos dispositivos conectados a la red eléctrica provocan atenuaciones en las señales de transmisión y recepción. Estas impedancias tan bajas son debidas, en gran medida, a que un número considerable de equipos electrónicos utiliza filtros contra interferencias electromagnéticas y supresores de picos que, aunque muy útiles y necesarios, hace de la red eléctrica un medio de impedancia impredecible. Si a esto agregamos la alteración que sufre dicha impedancia con la conexión y desconexión frecuente de cualquier equipo, resulta complicado determinar su valor para el cálculo apropiado del nivel de las señales a transmitir.

Podría determinarse niveles de señal considerando el caso mas crítico de atenuación, pero esto implica problemas aun mayores. Por una parte se necesitaría sobredimensionar etapas del emisor para incrementar la potencia, haciendo más complejo los elementos de comunicación. Es preferible el uso de filtros entre la red de energía eléctrica y los dispositivos que corrijan la impedancia de entrada de éstos. Los filtros están basados en capacitores conectados a las líneas con valores cercanos a los 100 nF, lo que provoca que la impedancia de entrada de los dispositivos con estos filtros disminuya hasta valores próximos a 1Ω [8].

2.1.3 Ruido en la red eléctrica

El ruido es un factor importante a considerar, en el desarrollo de aplicaciones que usan comunicaciones por línea de energía.

El ruido presente en una línea de energía eléctrica, proviene de dos fuentes principales:

- Armónicos de la frecuencia de la red eléctrica
- Ruido generado por dispositivos conectados a la red eléctrica

Similar a la solución propuesta para minimizar el efecto de la variación de impedancias, el ruido recibido y generado por los equipos, puede reducirse en gran medida con la instalación de filtros entre los equipos y la entrada o acometida de la red eléctrica.

Partiendo de la base que la señal alterna de la red eléctrica no es una onda senoidal pura, ya que sufre alteraciones debido a interferencias electromagnéticas y a las limitaciones de los transformadores y cableados por donde se propaga. Se puede establecer que además de la frecuencia fundamental de 60 Hz, aparecerán otros componentes armónicos de menor amplitud. Estos armónicos disminuyen notablemente con la frecuencia y desaparecen prácticamente a partir de los 50 a 100 Khz., lo que permite utilizar señales de frecuencias superiores a éstas, para disminuir los efectos del ruido.

Por otra parte se establece que la longitud de onda de las frecuencias utilizadas en las transmisiones, determina directamente las dimensiones físicas del cableado. Por lo que tampoco se pueden utilizar frecuencias muy elevadas. Por ejemplo, la longitud de onda correspondiente a la propagación de una señal eléctrica de 1 MHz por un cable de cobre, se define con la siguiente fórmula [8]:

$$\lambda = \frac{V_{propagacion}}{F} = \frac{47,770 \text{ km/s}}{1 \text{ MHz}} = 47.7 \text{ m} \quad (1)$$

Permitiendo establecer una frecuencia de trabajo para las comunicaciones PLC, que no sea afectada por los armónicos inherentes de la red eléctrica, pero tampoco limite en exceso la longitud máxima de transmisión. Una frecuencia bastante razonable es la adoptada por la norma EN 50065-1: 132.45 KHz. Obteniendo una distancia del medio de propagación de 360 metros, suficiente para aplicaciones en redes de energía eléctrica de baja tensión.

$$\lambda = \frac{V_{propagacion}}{F} = \frac{47,770 \text{ km/s}}{132.45 \text{ kHz}} = 360 \text{ m} \quad (2)$$

Todo dispositivo conectado a la red eléctrica provoca una perturbación en el cableado, que afecta a otros equipos conectados a la misma. Los motores eléctricos, y otras cargas inductivas, o fuentes de alimentación conmutadas, son los causantes de estas perturbaciones. Dependiendo del origen del ruido, se hace mención de los siguientes:

- **Ruido de fondo (background noise).** Durante pruebas realizadas por empresas electrónicas, utilizando la línea de energía eléctrica como medio de comunicación, y aplicando los niveles de transmisión de la norma CENELEC EN 50065-1, se observó que algunos receptores detectaron paquetes erróneos de información debido al ruido de fondo, lo que implica retransmisión de estos paquetes, ocasionando que el ancho de banda utilizado se incrementara hasta un 60 % (reducción de la velocidad de transmisión y aumento del acceso al medio).
- **Ruido impulsivo (impulse noise).** Es un ruido intermitente, generado principalmente por motores, triacs en reguladores de luz, lámparas fluorescentes, se trata de señales con un rango de frecuencias muy amplio, presentes en zonas industriales y comerciales.
- **Ruido con señal continua (continuous wave signal).** A diferencia del impulsivo, este tipo de ruido tiene una forma de onda permanente. Un ejemplo son las generadas por fuentes de alimentación conmutadas.

2.1.4 Ventajas de las comunicaciones por línea de energía eléctrica

Las principales ventajas de este tipo de comunicación son el considerable ahorro en cableado, mientras que otros medios de comunicación como el teléfono, televisión, Internet se canalizan a los usuarios mediante la instalación de una nueva infraestructura de cableado, la red de energía eléctrica esta disponible y accesible en la gran mayoría de viviendas. Otro aspecto a destacar es la facilidad de instalación y conexión de dispositivos, así como su fácil reubicación en la misma red, lo que hace de esta tecnología una buena opción en el ámbito de las comunicaciones a nivel residencial.

2.2 ARQUITECTURAS DE COMUNICACIÓN

Uno de los factores más importantes a considerar en el diseño de los sistemas de comunicaciones, es la arquitectura a utilizar. Éste define los procesos a realizar y el nivel jerárquico de los dispositivos que integran el sistema. Básicamente existen tres arquitecturas básicas, que son:

- Modelo centralizado
- Modelo descentralizado
- Modelo distribuido

2.2.1 Modelo Centralizado

Este modelo es ampliamente conocido como Maestro-Esclavo (Master-Slave). En él existe un único elemento administrador y controlador, denominado unidad central, que gobierna a todos los dispositivos.

Esta arquitectura es óptima para la gestión y administración de los dispositivos, mediante la centralización de funciones, pero depende en forma excesiva de la unidad central, corriendo el riesgo que falle y el sistema deje de funcionar por completo. La infraestructura de este modelo es poco compleja y con costos de implantación accesibles.

2.2.2 Modelo Descentralizado

Este modelo es totalmente inverso al centralizado. Todos los dispositivos son independientes, se rigen por políticas propias de funcionamiento para interactuar con otros dispositivos. La desventaja que presenta es que requiere de una infraestructura costosa y compleja. Los dispositivos de edificios inteligentes están basados en este modelo.

2.2.3 Modelo Distribuido

Este modelo combina las ventajas de los modelos anteriores, por una parte utiliza la centralización de procesos y robustez del sistema para evitar un fallo generalizado y por otra crea una red de comunicación que otorgue cierta independencia a los dispositivos. El diseño puede llegar a consolidarse en forma medianamente compleja a un costo aceptable.

2.3 MODULACIÓN

Se entiende por modulación toda alteración de alguna o varias características de una señal que se denomina portadora (carrier), en función de otra señal conocida como moduladora (envolvente).

La modulación surge por la necesidad de transmitir señales que, previamente modificadas (moduladas), adquieran propiedades más convenientes para su propagación por el medio de comunicación utilizado. La modulación facilita las transmisiones reduciendo considerablemente el tamaño de antenas y transformadores, reduce el nivel de ruido e interferencias a excepción de las modulaciones por amplitud, permite la multiplexación de varias señales en un mismo medio al utilizar multiplexación por división de frecuencias y reduce los niveles de potencia necesarios para su tratamiento y propagación.

Toda señal se caracteriza en un instante determinado por su frecuencia, amplitud y fase, son estos parámetros los que se pueden variar para

transmitir información. En base a lo anterior existen tres tipos de modulaciones básicas, en amplitud, en frecuencia y en fase.

Para el caso de transmisiones digitales, las modulaciones mas utilizadas son:

- ASK Modulación en amplitud (Amplitud Shift Keying)
- FSK Modulación en frecuencia (Frequency Shift Keying)
- PSK Modulación en fase (Phase Shift Keying)

2.3.1 Modulación ASK

La modulación ASK es un caso particular de la modulación en amplitud (AM). En este tipo de modulación, la portadora ve modificada su amplitud en función de la señal a transmitir. Ver Figura 2.1.

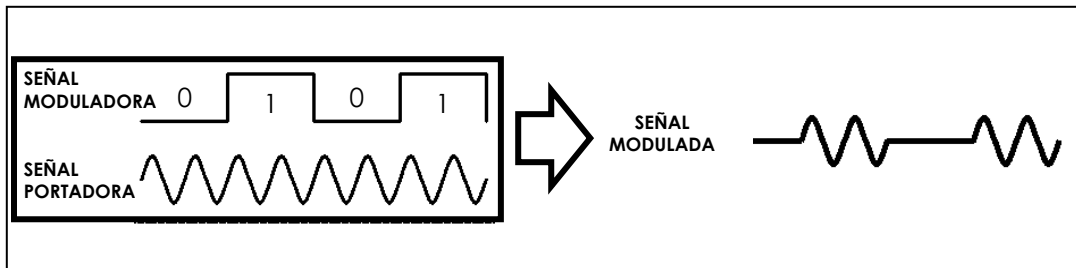


Figura 2.1 Modulación ASK

La modulación ASK tiene un coste relativamente bajo, los circuitos modulador y demodulador son sencillos y requiere un ancho de banda reducido en comparación con otros métodos, lo que permite tener muchas señales en un mismo canal. La desventaja principal es la facilidad de ser perturbado por interferencias.

2.3.2 Modulación FSK

La modulación FSK es un caso particular de la modulación FM. La señal portadora modifica su frecuencia en función de la señal a transmitir, como se observa en la Figura 2.2.

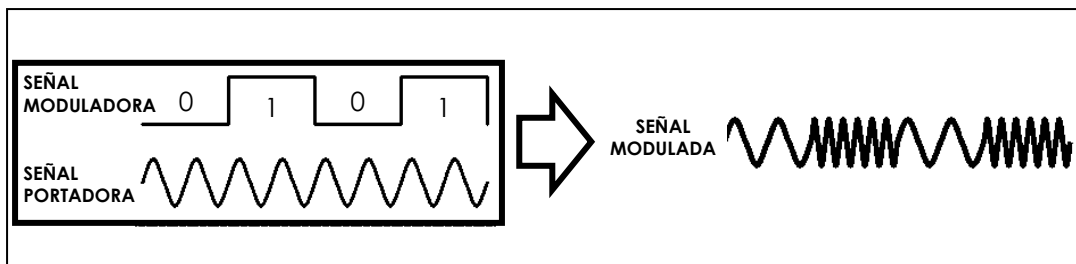


Figura 2.2 Modulación FSK

La Modulación FSK no depende de la amplitud, ya que la información está en la frecuencia, por lo que se obtiene inmunidad ante perturbaciones que puedan modificar la envolvente, pero tiene el problema de que requiere un gran ancho de banda. Se utiliza normalmente en enlaces asíncronos y es el sistema ideal para transmisiones a baja velocidad.

2.3.3 Modulación PSK

La modulación PSK es una modulación en fase. Aquí la portadora ve modificada su fase en función de la señal a transmitir (Figura 2.3)

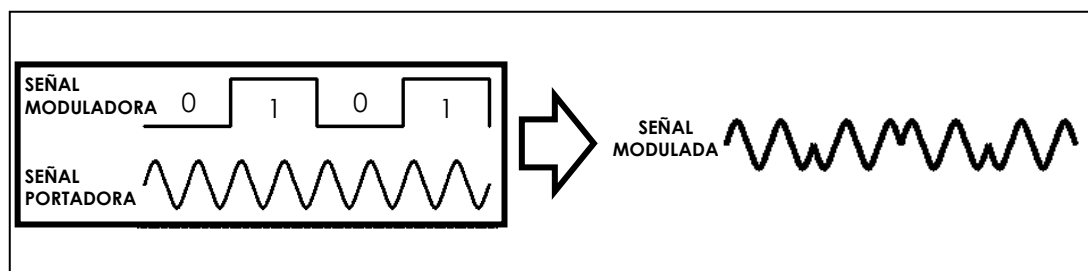


Figura 2.3 Modulación PSK

Es el tipo de modulación más eficiente para transmitir datos binarios en presencia de ruido y es ideal para comunicaciones síncronas. El inconveniente se presenta en el diseño muy complejo de los circuitos moduladores y demoduladores.

2.4 MÉTODOS DE TRANSMISIÓN DE DATOS

Existen básicamente dos métodos de transmisión de datos los cuales se enumeran y explican a continuación:

- **Transmisión asíncrona.** En este tipo de transmisión se envía un carácter precedido de un bit de arranque y al final seguido de uno o dos bits de parada. Este método es útil para transmisiones hasta de 1000 bps. Los módems que se utilizan no son sofisticados ya que no incluyen relojes de sincronización.
- **Transmisión síncrona.** Este tipo de transmisión está orientado a lotes, es más complicado debido a que se necesita que ambos módems estén sincronizados, para llevar a cabo esta sincronización se utiliza un protocolo complejo entre ambos módems, la ventaja es que una vez sincronizados los módems permite el envío de cientos de bytes por lote, alcanzando velocidades mayores de 9600 bps.

2.5 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

Debido a la necesidad de normalizar las comunicaciones surge la idea de crear protocolos estandarizados. Éstos contienen las reglas que determinan todos los aspectos para establecer una correcta comunicación entre dispositivos, se componen de especificaciones eléctricas mecánicas y funcionales.

Son muchos los protocolos que se han implementado para la transmisión de señales digitales. Entre los más conocidos esta el RS-232, RS-485, etc.

Los Sistemas de Control Supervisorio y Adquisición de Datos, por sus siglas en ingles SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), están basados en dos tipos de protocolos: barrido secuencial (poleo) y reporte por excepción.

2.5.1 Protocolo de barrido constante (Poleo)

Están basados en la arquitectura de comunicación de modelo centralizado, existe un dispositivo maestro y uno o mas dispositivos esclavos. El equipo maestro establece comunicación con los equipos esclavos a través de un barrido constante (poleo), enviando mensajes o comandos siguiendo una secuencia preestablecida, de esta forma el medio de comunicación se mantiene ocupado en todo momento.

2.5.2 Protocolo por reporte por excepción

En este protocolo también existe un elemento maestro y uno a más dispositivos esclavos, funciona de la siguiente manera:

El equipo maestro espera un mensaje de reporte de cualquier equipo esclavo, indicando de esta manera que se ha generado una condición de cambio de estado o evento en éste último equipo. Entre las características importantes se menciona que el o los dispositivos esclavos son quienes inician la comunicación mientras que el equipo maestro permanece en espera de recibir la información, y por otra parte el medio de comunicación no se encuentra permanentemente en uso, solo está ocupado cuando el dispositivo esclavo transfiere información al equipo maestro.

2.6 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL MEDIDOR DE ENERGÍA ELÉCTRICA O WATHHORIMETRO.

De acuerdo al estándar 100 del IEEE, la definición oficial del wathhorímetro es la siguiente:

Un medidor de electricidad que mide y registra la integral de la potencia activa con respecto al tiempo, del circuito al cual es conectado. Esta

integral de potencia es la energía entregada al circuito durante el intervalo sobre el cual la integración se extiende, y la unidad en la cual se mide es usualmente el Kilowatthora.

La energía y la potencia son dos conceptos diferentes. La potencia es una cantidad instantánea, en cambio, la energía esta en función del tiempo durante el cual la potencia es aplicada. Para medir la energía es necesario utilizar un aparato que mida la potencia utilizada sobre un periodo definido. La potencia se mide por medio de un wattmetro que indica la potencia instantánea en watts, mientras que un wathorímetro mide el total de watts por hora que se han utilizado. De esta forma un wathorímetro indica 1000 wathoras si éste se conecta durante dos horas a un circuito que usa 500 watts [4].

Para un circuito de una fase a 2 hilos los watts se definen con la siguiente formula:

$$P = V_{rms} * I_{rms} * FP \tag{3}$$

Donde:

- V** Voltaje (Volts)
- I** Corriente (Amperes)
- FP** Factor de potencia igual al coseno del ángulo existente entre la corriente y el voltaje.

La energía se obtiene integrando en el tiempo la potencia. Como se observa en la siguiente formula:

$$\text{Energía (Wathoras)} = \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt \tag{4}$$

En un wathorímetro la velocidad del disco (rotor) es proporcional a los watts, de tal forma que la suma de las revoluciones del rotor represente wathoras.

La Figura 2.4 muestra las partes que integran un wathorímetro, y a continuación se hace una descripción de cada uno de los elementos:

1. **El Estator:** Consta de una bobina de potencial y una bobina de corriente. La primera bobina produce un flujo magnético proporcional a la tensión aplicada, y la segunda produce un flujo magnético proporcional a la corriente de la línea. Ambos campos magnéticos actúan directamente sobre el rotor.
2. **El Rotor:** Es un disco sólido de aluminio (elemento móvil) montado sobre un eje vertical de latón. Está suspendido magnéticamente, mediante imanes cilíndricos de ferrita que ofrecen gran resistencia a la desmagnetización causada por campos externos. Las chumaceras guías y los pivotes donde se alojan, están fabricados con materiales especiales que minimizan la fricción y aseguran una larga vida útil al medidor.

3. **Imanes de freno.** Permiten graduar la velocidad del rotor para que sea proporcional a los watts.
4. **Registro.** Actúa como una máquina aditiva y acumula las revoluciones del disco. El engrane en el registro está diseñado de tal forma que las revoluciones del disco sean presentadas en Kilowatthoras, que es la unidad de energía que será facturada al usuario. El registro tiene 4 ó 5 carátulas colocadas horizontalmente para facilitar la lectura.
5. **Marco.** Permite soportar y ubicar en forma precisa las bobinas de potencial y corriente, el rotor, los soportes del rotor y el registro en una relación exacta.
6. **Base.** Soporta el marco principal con todos los elementos del medidor, así como las terminales de conexión a la base socket. Está fabricada en baquelita moldeada a presión, muy resistente a impactos y manejo rudo.
7. **Cubierta.** Fabricada en vidrio, con los costados cóncavos y el frente plano, para su fácil manejo y asegurar una visión clara de la lectura del medidor. Se sujeta a la base con un aro de aluminio y se sella con la base mediante un empaque tubular.

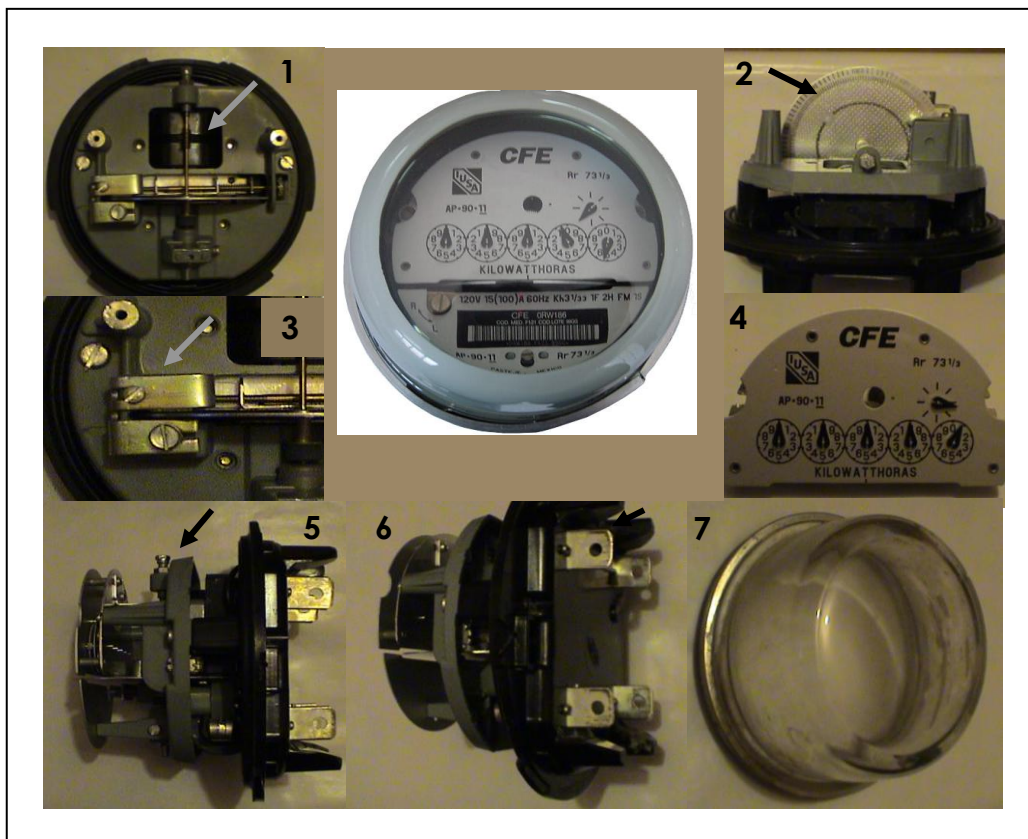


Figura 2.4 Elementos que integran un Watthorímetro

Debido a que el registro debe convertir las revoluciones del disco expresadas en wathoras/revolución en Kilowatthoras, debe existir una relación entre el engrane del registro y los wathoras por una revolución del disco.

Esta relación se expresa matemáticamente como sigue:

$$Rr = \frac{10,000 \times Kr}{Kh \times Rs} \quad (5)$$

Donde:

- Rr** Es el número de revoluciones que tiene que dar el engrane que se acopla con el eje del disco, para que la primer manecilla dé una vuelta completa. 73 1/3 para el medidor utilizado en este proyecto.
- Kr** Constante del registro o multiplicador de la lectura. Este valor es 1 para cualquier medidor de los usados en este trabajo
- Kh** Es el número de wathoras por una revolución del disco.
- Rs** El número de revoluciones del disco del medidor para que el primer engrane del registro dé una vuelta. Para los wathorímetros usados en el proyecto es 45.
- 10,000** Es el número de wathoras para que la primer manecilla de una vuelta completa (10 KWh)

Debido a que el proyecto requiere contabilizar las revoluciones o giros del disco del medidor, se requiere determinar el valor de wathoras por una revolución del disco, es decir la constante Kh. Sustituyendo los datos anteriores en la formula, se obtiene:

$$Kh = \frac{10,000 \times 1}{73.333 \times 45} = 3.0303 = 3 \frac{1}{33} \quad (6)$$

Obteniendo:

Una revolución del disco = 3.0303 wathoras = 0.003030 Kilowatthoras

Una revolución del disco = 0.003030 Kilowatthoras

Por norma las constantes K_h y R_r deben ser impresas en la placa de datos del medidor por el fabricante del equipo (Figura 2.5)



Figura 2.5 Constantes K_h y R_r impresas en placa de datos del medidor

2.6.1 Calibración del medidor

Para tener una exactitud del 100 %, el disco de un wathhorímetro debe completar una revolución en un tiempo predeterminado (t), si una carga constante (watts) es aplicada. Esto indica que un wathhorímetro podría ser probado bajo condiciones de carga constantes con un cronómetro. Sin embargo, debido a la dificultad de mantener una carga constante, la mayoría de las pruebas de los wathhorímetros son hechas con un wathhorímetro patrón de funcionamiento conocido y certificado. Dado que ambos wathhorímetros se conectan para “ver” los mismos watts, las pequeñas variaciones de voltaje, corriente o factor de potencia no introducen errores en la prueba. En este método de comparación, ambos medidores usan los mismos watts en el mismo intervalo de tiempo.

2.7 PROCEDIMIENTO DE TOMA DE LECTURAS DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

El procedimiento para la toma de lecturas inicia con la planeación y el diseño de ciclos o rutas, mediante las cuales queda delimitada un área geográfica específica de una población o ciudad en particular; cada una de estas rutas se integra con un número variable entre 700 y 1000 usuarios, llevando implícita la información correspondiente al domicilio y número de medidor instalado. Una vez que las rutas son plenamente establecidas, se asigna a un trabajador, quien tiene la función de verificar la correcta correspondencia de los medidores instalados en campo y recabar la información del consumo mediante la observación de las manecillas en las

carátulas, a través de las cuales queda registrada la cantidad de energía eléctrica consumida en unidades de Kilowatthoras [10].

El trabajador o lectorista realiza el recorrido acudiendo a cada domicilio que tenga asignado en su ruta o ciclo, debiendo visualizar las manecillas en las carátulas del medidor y en base a la posición de éstas, establece el consumo de energía eléctrica registrado por el medidor. La Figura 2.6 ilustra un ejemplo donde la lectura obtenida es de 98753 Kilowatthoras, y se determina con el siguiente procedimiento:

1. Colóquese frente al wathhorímetro (medidor).
2. Ubique la carátula del lado izquierdo, anotando la cifra que halla sido rebasada por la manecilla, de acuerdo al sentido de giro correspondiente. Ver Figura 2.6
3. Ubique la siguiente carátula, siguiendo el orden de izquierda a derecha, procediendo de acuerdo al punto 2, hasta terminar con la última carátula.
4. La última cifra corresponde al valor registrado en la carátula del lado derecho, siendo esta cifra la de menor valor significativo.

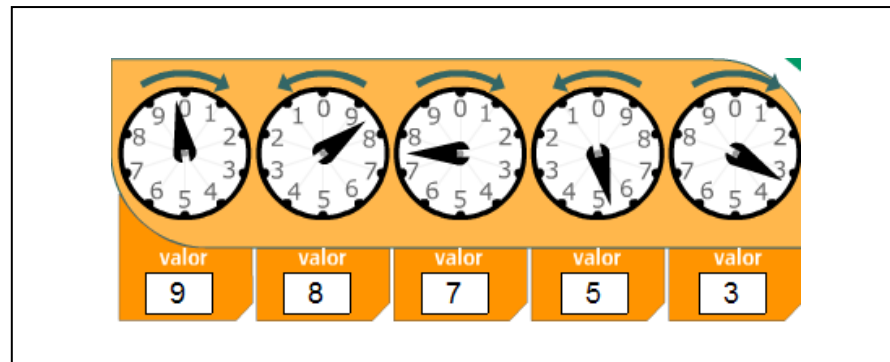


Figura 2.6 Ejemplo para obtener la lectura de un medidor

El procedimiento para la toma de lecturas ha tenido una evolución considerable en fechas recientes, incrementando en gran medida el número de lecturas obtenidas durante una jornada de trabajo, mediante la incorporación de terminales portátiles (TP`s), en lugar de una simple libreta de apuntes, complementándose con software para el manejo de bases de datos para mejorar la organización y la explotación de la información.

El trabajador o lectorista ingresa este valor en una terminal electrónica portátil (TP), la cual almacena esta información en la base de datos. Al concluir la jornada de trabajo, la terminal portátil se conecta a una computadora para recuperar el total de lecturas obtenidas, realizando el procesamiento de la información para la facturación y emisión de recibos de pago.

3

Descripción General del Sistema de Medición Remota

3.1 ESQUEMA GENERAL DE SISTEMAS DE MEDICIÓN.

El esquema general de medición que se está implantando en los mercados abiertos alrededor del mundo, por las diferentes compañías de energía eléctrica, se ilustra en la Figura 3.1. En éste se distinguen tres bloques principales que, con variantes en sus denominaciones son:

- Instalaciones de medición
- Medios de comunicación
- Centros de control

El esquema puede variar de un país a otro en función de los requerimientos operativos y la infraestructura eléctrica instalada en particular.

El punto donde nace la medición está formado básicamente por medidores de energía eléctrica, concentradores de datos e interfases a los medios de comunicación. Los canales y protocolos de comunicación constituyen los medios de comunicación, sirven de enlace entre el centro de procesamiento de información y los dispositivos de medición de energía eléctrica. En el centro de procesamiento de información se lleva a cabo la administración del sistema de medición. Este centro esta integrado por equipos de cómputo, bases de datos cliente/consumo, interfases a los medios de comunicación y herramientas de aplicación específicas.

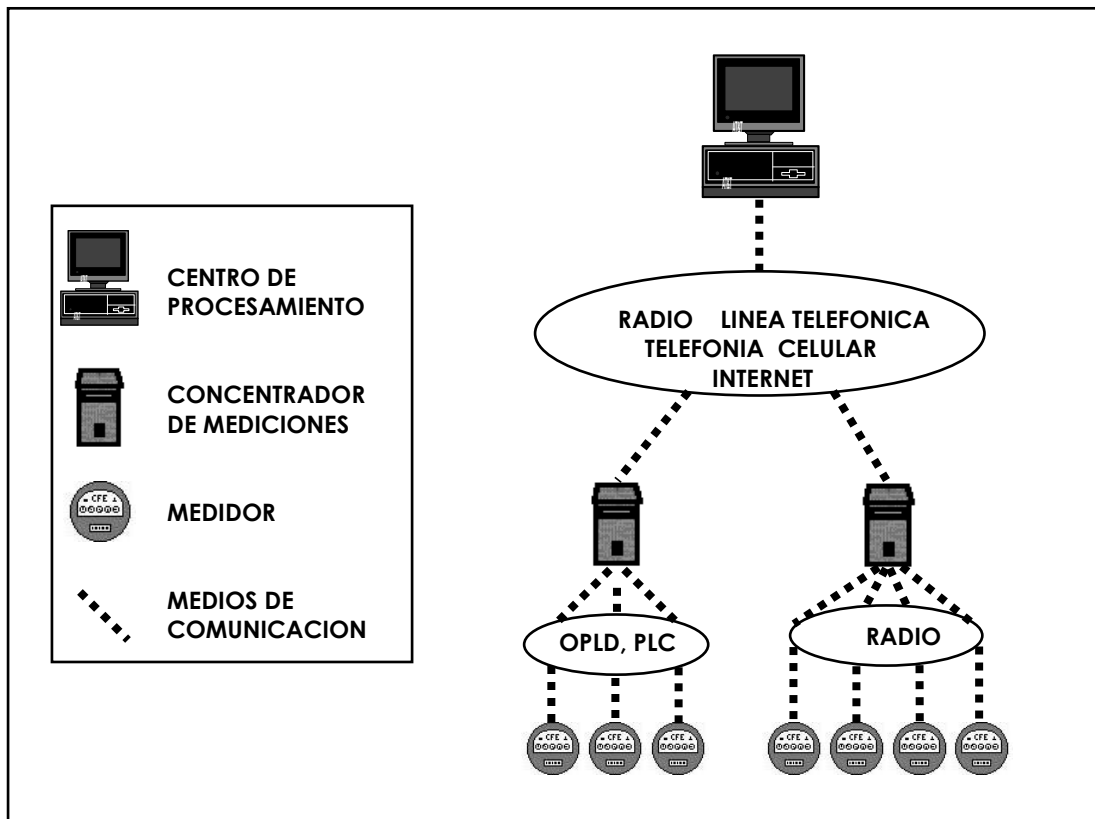


Figura 3.1 Esquema típico de un sistema de medición de energía eléctrica a distancia.

3.1.1 Instalaciones de medición

Los dispositivos de medición constituyen los elementos primarios del sistema de medición, su equipamiento y configuración dependen básicamente del tipo de consumidor final (residencial, comercial o industrial) y la topología de las redes de distribución de energía eléctrica. En la práctica, predomina el medidor tipo electromecánico instalado en la gran mayoría de los consumidores residenciales y pequeñas comercios.

Bajo este esquema el medidor al ser generalmente de tipo electromecánico, se modifica para realizar funciones de lectura automática mediante la instalación de dispositivos electrónicos. Por otra parte el

concentrador de mediciones generalmente se ubica en los postes de la red de distribución.

3.1.2 Medios de comunicación

Las compañías eléctricas a nivel mundial requieren de la integración, consolidación y disseminación de información para agilizar sus procesos, de tal manera que los medios de comunicación juegan un papel de vital importancia en los sistemas de medición a distancia. Se hace referencia como medios de comunicación, a los canales y protocolos que se usan actualmente para cada tipo de punto de medición.

La preferencia por los medios de comunicación para enlazar los medidores a los concentradores de medición, posiciona a la Onda Portadora por Línea de Distribución (OPLD) o Power Line Carrier (PLC) y al radio de comunicación, como las dos opciones de mayor aceptación en consumidores de tipo residencial. Para el caso de consumidores comerciales e industriales, aplica el mismo concepto, salvo para casos de consumos muy importantes y grandes instalaciones aisladas geográficamente, en el que el medio de comunicación que prevalece es la línea telefónica o celular, ya que la información de medición se envía normalmente de manera directa al centro de control. La comunicación entre el concentrador y el centro de control, normalmente se realiza a través de enlaces de radio, celular, línea telefónica pública o privada. Lo anterior basado en datos proporcionados por la Automatic Meter Reading Association, AMRA por sus siglas en inglés [9].

En cuanto a los protocolos de comunicación, a pesar de los esfuerzos internacionales en favor de la estandarización, todavía predominan los del tipo propietario, lo que obstaculiza la interoperabilidad de los equipos de diferentes marcas.

El medio de comunicación utilizado para obtener la información de medición no solo es determinado por el costo, sino por la aplicación que una determinada compañía eléctrica hace de la información. Si ésta es utilizada únicamente para propósitos de facturación, la OPLD o PLC y el radio móvil es suficiente. El manejo de energía de los grandes consumidores, requiere de lecturas mas frecuentes; esto implica la utilización de otra tecnología de adquisición de datos. Es común que en determinados proyectos se recurra a la combinación de más de un medio de comunicación.

3.1.3 Centros de control

Las tecnologías de adquisición de datos no pueden ser explotadas óptimamente si no se tienen las herramientas adecuadas de análisis de información. En otras palabras, el conocimiento que se obtiene de los datos

de medición es más útil cuando se presenta en una forma fácil de usar. Para tal efecto existen paquetes de software orientados al procesamiento de información de medición. Éstos son escalables y abiertos en sus bases de datos, de tal manera que se pueden enlazar a otros sistemas de las compañías de electricidad, como son los servidores de facturación.

Si bien existen algunos sistemas que incluyen una cantidad adecuada de modelos y marcas de medidores para muchas aplicaciones de medición, y que constantemente se están actualizando, es común encontrar sistemas con restricciones en este aspecto y, ante la falta de una estandarización ampliamente aceptada en la forma de acceder a la información de los medidores, las compañías de electricidad se ven obstaculizadas en la incorporación de nuevos equipos de medición, siendo cautelosas en adoptarlos, argumentando que la tecnología se encuentra cambiando y los costos aún son altos. No obstante resulta atractiva esta tecnología en función del costo/beneficio que puede proporcionar en términos de mejoramiento del servicio al cliente y la eficiencia operacional del proceso de medición.

3.2 ESQUEMA PROPUESTO PARA EL SISTEMA DE MEDICIÓN REMOTA DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Con la finalidad de mejorar la toma de lecturas de los servicios domésticos y comerciales; surge la necesidad de desarrollar un sistema que permita obtener lecturas del consumo de energía eléctrica a distancia, desde una computadora central, mediante el diseño e implementación de dispositivos electrónicos y de comunicaciones para la explotación de la información. Un factor importante a considerar y que afecta directamente el procedimiento de toma de lecturas, son las condiciones geográficas en el estado de Oaxaca, con una gran cantidad de poblaciones dispersas, lo cual hace difícil el acceso a éstas, incrementando los costos por tiempo extra de los trabajadores, tiempos de traslado prolongados y gastos de vehículos.

Tomando como referencia los esquemas típicos de sistemas de medición a distancia y analizando las condiciones particulares de infraestructura eléctrica instalada, disponibilidad de medios de comunicación, condiciones geográficas, etc., de la Zona de Distribución Oaxaca de C.F.E. se propone, analiza, desarrolla y aplica un sistema de medición remota que aporte una mejora al procedimiento tradicional de tomas de lectura del consumo de energía eléctrica, posibilitando a la vez ampliar su campo de aplicación a otros temas de interés.

La Figura 3.2, muestra la propuesta del esquema general del Sistema de Medición Remota de Energía Eléctrica, a partir del cual se establece que se divide en cuatro módulos principales:

- Medidores.
- Concentrador de datos de medición.
- Estación central.
- Medios de comunicación.

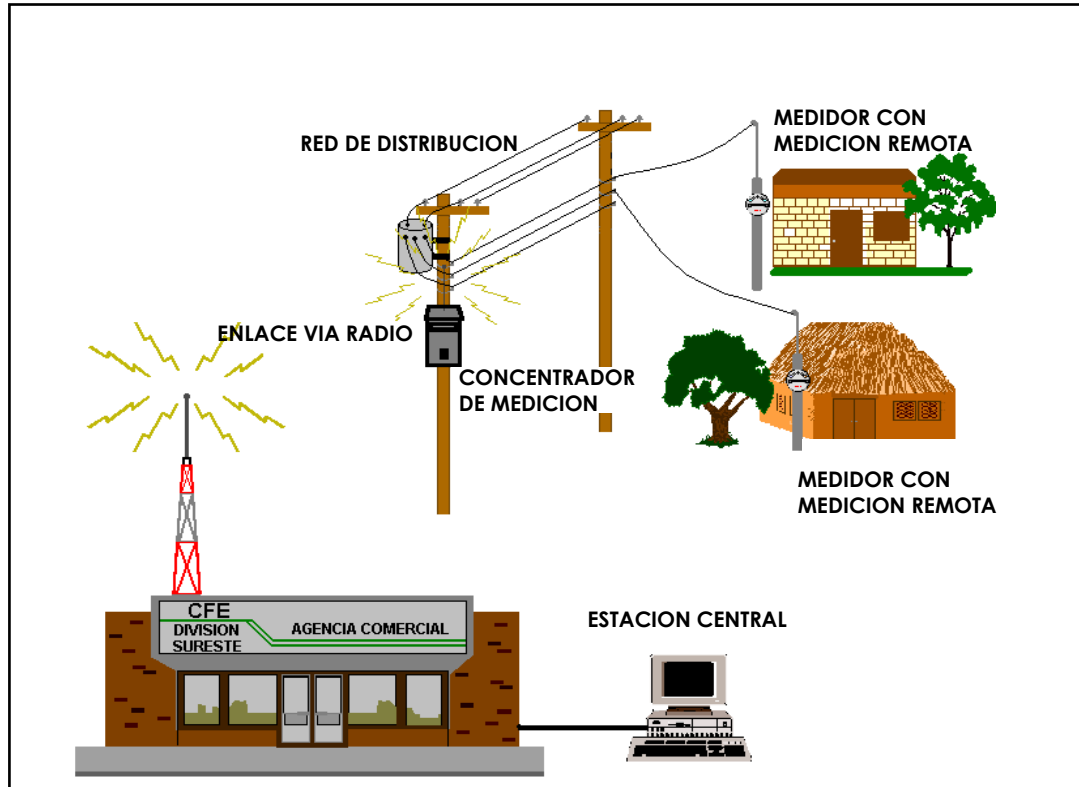


Figura 3.2 Esquema General del Sistema de Medición Remota.

El proyecto consiste en incorporar a un medidor de energía eléctrica tipo electromecánico, un dispositivo electrónico que permita en primera instancia, contabilizar el consumo de energía eléctrica y posteriormente enviar esta información a una estación central, sustituyendo las funciones que realiza el lectorista. Asegurando la precisión de la información obtenida, utilizando los mismos medidores que actualmente están en operación, para obtener el menor costo de implementación posible.

En primera instancia se pretendía dotar a cada medidor de un equipo de comunicación, para realizar la transferencia de datos directamente a la estación central. Lo anterior provoca un costo de implementación elevado; así mismo las dimensiones físicas en cuanto al espacio que ocupan los equipos no resultan adecuadas, ya que esto implica instalar en cada

medidor un gabinete adicional para proteger y resguardar los equipos de comunicación.

Por lo anterior se optó por realizar un esquema de comunicación local para realizar el enlace de los medidores, con un equipo intermedio a la estación central, que tendrá como función básica establecer la comunicación y recolección de datos de cada medidor, y por otra parte enviar esta información a través de un enlace de radio a la estación central, por las funciones que realiza se denomina concentrador de datos.

Como medio de comunicación entre los medidores y el concentrador, se utiliza el mismo cableado de suministro eléctrico, aplicando técnicas de transferencia de datos por líneas de energía eléctrica OPLD o PLC, evitando con esto la instalación de cableados adicionales. Para realizar el enlace del concentrador de datos con la estación central, será utilizado como medio de comunicación un enlace de radio.

El esquema de la Figura 3.3 permite ilustrar las características del enlace de comunicación propuesto para el sistema de medición remota. Basado en el modelo centralizado, la estación central es en primer instancia el dispositivo maestro, mientras que el concentrador de datos es el elemento esclavo. En la siguiente etapa de comunicación el concentrador se convierte en el equipo maestro mientras que los medidores son los dispositivos esclavos.

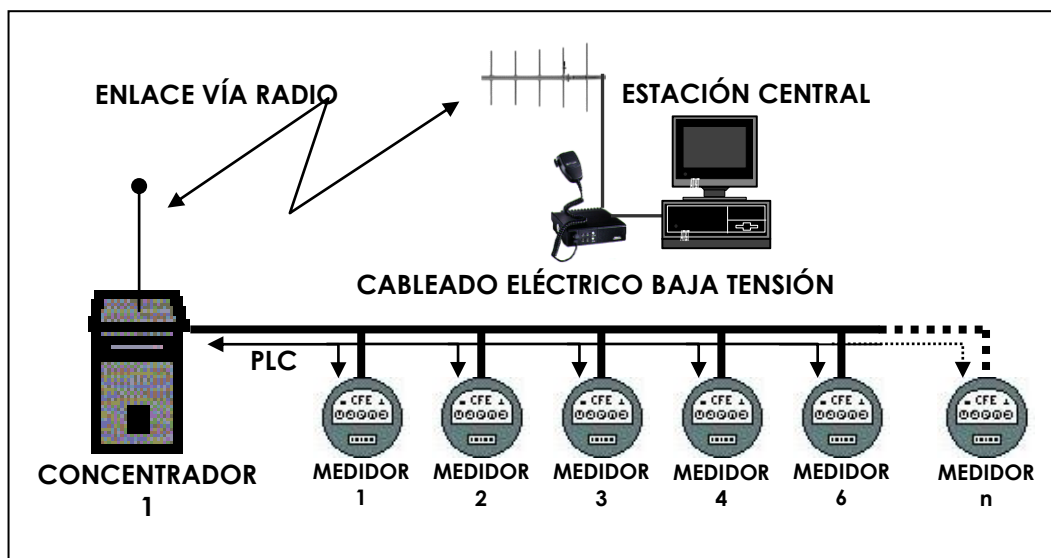


Figura 3.3 Esquema de comunicación del Sistema de Medición Remota

El protocolo de comunicación a utilizar es por barrido (poleo), cada uno de los dispositivos tiene asignado un identificador único (direccionamiento), el equipo maestro envía tramas de información (comandos) a cada uno de los dispositivos esclavos siguiendo una secuencia definida, y se mantiene en espera de recibir respuesta del dispositivo esclavo; si el tiempo de espera se agota sin recibir respuesta, puede enviar una nueva petición o bien puede continuar enviando comandos al siguiente dispositivo esclavo hasta finalizar con la secuencia programa.

En la primera etapa de comunicación la estación central (equipo maestro) envía al concentrador (equipo esclavo) tramas o paquetes de datos, y queda en espera de recibir una respuesta a la petición solicitada, estableciendo de esta manera la transferencia de información; en caso de no recibir respuesta se genera uno mas intentos programados o bien una nueva secuencia de envío de datos se ejecuta. El proyecto contempla por el momento utilizar un solo concentrador de datos, sin embargo en aplicaciones futuras se puede incorporar al sistema más de un concentrador con algunas adecuaciones.

La comunicación entre el concentrador y los medidores se realiza a través del mismo protocolo, y contempla los siguientes pasos (Ver Figura 3.4):

- 1) El concentrador envía un comando solicitando al medidor la información del número de revoluciones del disco (medidor 1 al iniciar secuencia de barrido).
- 2) El concentrador ejecuta tiempo de espera, para recibir información.
- 3) El concentrador recibe la información del medidor y va al paso 5.
- 4) Si no existe respuesta del medidor, después de concluir tiempo de espera, se envía nuevamente el comando (intento) y va al paso 3.
- 5) La secuencia de barrido continúa, se ejecutan los pasos 1, 2 y 3 ó 4 para el siguiente medidor hasta concluir con el último.

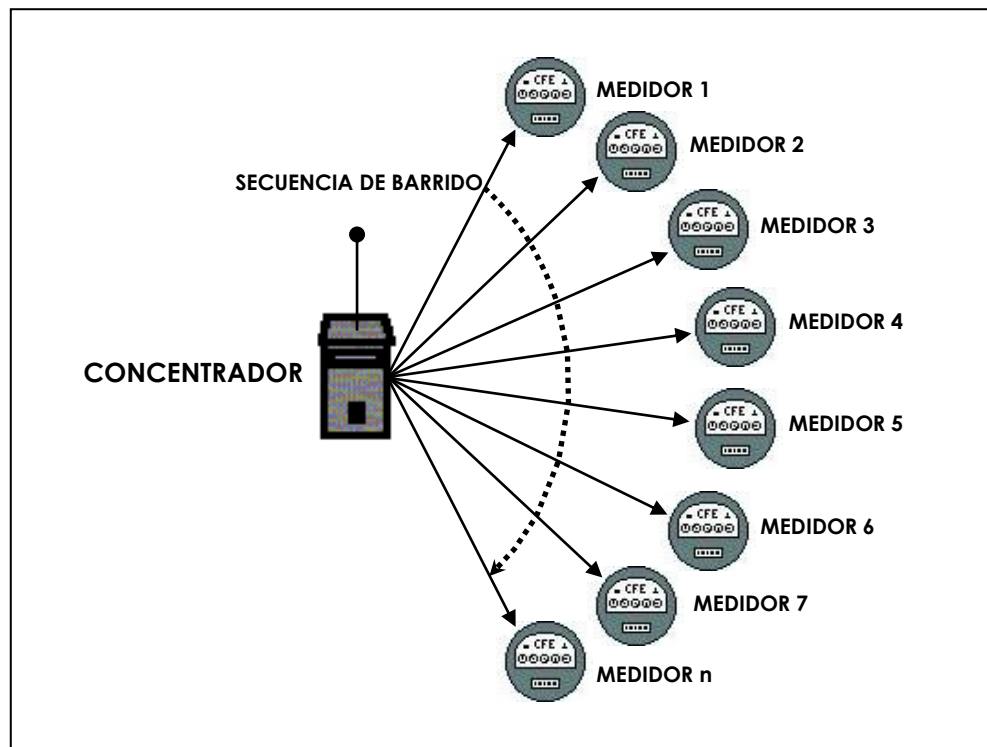


Figura 3.4 Secuencia de barrido entre concentrador y medidores

4

Diseño e implementación del Sistema de Medición

En el capítulo anterior se realizó la descripción general del Sistema de Medición Remota de Energía Eléctrica. De esta forma se tienen los antecedentes para iniciar el diseño e implementación de cada una de las partes que lo integran.

El sistema se divide en 4 módulos principales que son:

- Medidor
- Concentrador de datos de medición
- Enlaces de comunicación
- Estación Central

En las siguientes secciones se explica en forma detallada cada una de éstas.

4.1 MEDIDOR

En este proyecto se utiliza el medidor de energía eléctrica modelo AP-90-11 de la marca IUSA® (Industrias Unidas Sociedad Anónima), el cual es un watthorímetro utilizado para registrar el consumo de energía eléctrica de tipo residencial o comercial, con voltaje de suministro de 120 Volts rms de corriente alterna, a una fase.

La finalidad es incorporar al medidor una tarjeta electrónica que realice las funciones de contabilizar y almacenar las revoluciones del disco, y posteriormente enviar esta información al concentrador de datos, a través de un enlace de comunicación utilizando la línea de energía eléctrica instalada.

La etapa de comunicación, que está incluida en la tarjeta electrónica del medidor, tiene una particular importancia, ya que está basada en los principios de comunicación en líneas de energía eléctrica (Power Line Carrier). Los datos a transmitir deben ser enviados por la red eléctrica, aprovechando la infraestructura ya existente en baja tensión.

Para coordinar las funciones del medidor se utiliza un microcontrolador, que es un circuito integrado programable que contiene los componentes mínimos de una computadora con prestaciones limitadas. En su memoria sólo reside un programa destinado a controlar el funcionamiento de una aplicación específica, a través de sus líneas de entrada y salida se conectan sensores y actuadores del dispositivo a controlar.

Para lograr establecer comunicación entre los medidores y el concentrador de datos de medición, es necesario contar con un medio de comunicación disponible en todo momento, sin requerir la instalación de cableados adicionales para tal propósito.

Dentro de las actividades de investigación y recopilación de información, se encontró información de la existencia de por lo menos tres circuitos integrados, dedicados a la comunicación por onda portadora en líneas de energía eléctrica: el ST7536 de la firma SGS-THOMSON®, el LM1893 de NATIONAL SEMICONDUCTOR®, y el TDA5051A de PHILIPS®.

Con respecto a los dos primeros circuitos se encuentra suficiente información en Internet. El ST7537 es un módem FSK half duplex que trabaja a 2400 bps en presentación de encapsulado plástico de 28 pines. El LM1893 utiliza también modulación FSK funciona hasta 4800 bps y utiliza encapsulado DIP (dual-in-line package) de 18 pines. El TDA5051A utiliza modulación ASK, trabaja con velocidades de 600 a 1200 bps y se presenta en encapsulado SOP (small outline package) de 16 pines.

Debido a que la comunicación a través de la red eléctrica, presenta algunos inconvenientes como son el ruido y la variación de impedancias según las cargas conectadas, es preferible utilizar alguno de estos circuitos

integrados que son diseñados para este uso específico, sin embargo debido a que los circuitos integrados mencionados con anterioridad dejaron de fabricarse desde 1998, resulta prácticamente imposible encontrarlos. Por lo anterior se recurre a un diseño propio para la construcción de las partes que integran el módem por línea de energía eléctrica (etapas de transmisión, recepción e interfase de acoplamiento), con base en la información y cálculos de los circuitos integrados propuesto por SGS-THOMSON® [8].

De esta forma el diseño de la tarjeta electrónica del medidor se divide en las siguientes etapas:

- Fuente de voltaje de CD
- Sensor óptico
- Interfase de acoplamiento a la línea de energía eléctrica.
- Etapa de transmisión
- Etapa de recepción
- Microcontrolador

En la Figura 4.1 se muestra un diagrama representativo de las etapas que componen la tarjeta electrónica del medidor, en la cual también destaca el tipo de señales que cada etapa requiere y a su vez procesa.

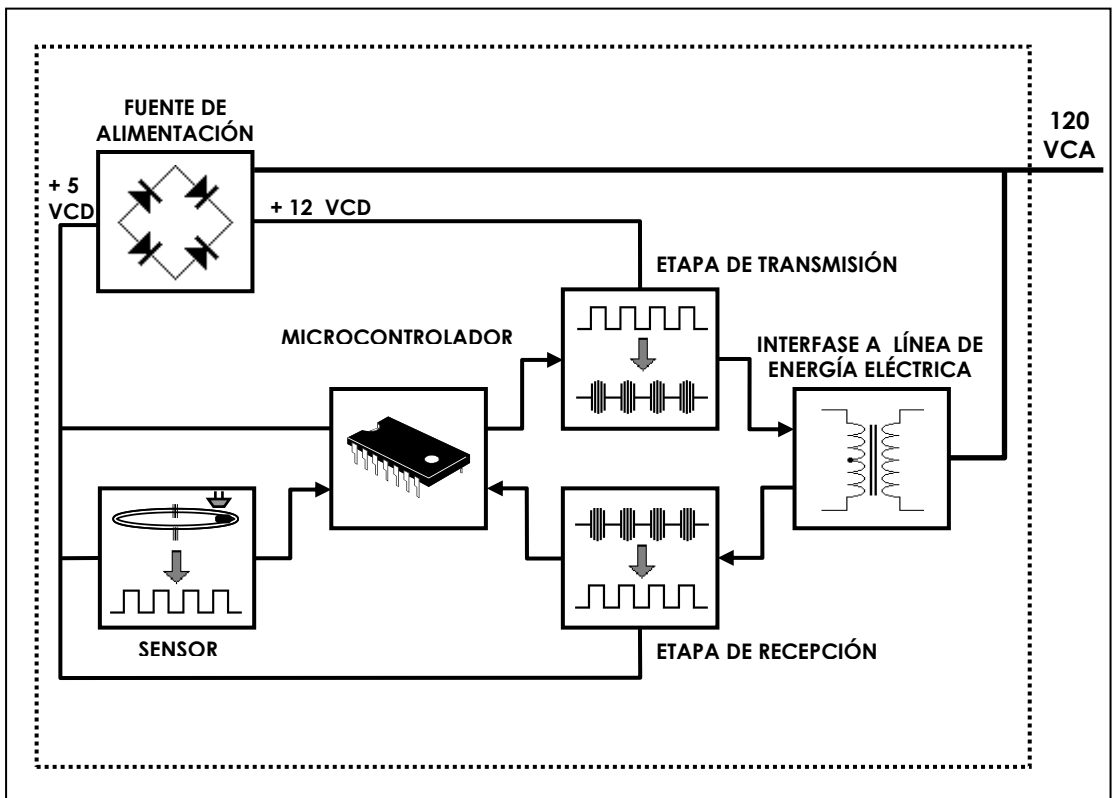


Figura 4.1 Diagrama de bloques de la tarjeta electrónica del medidor

A continuación se realiza la descripción de cada etapa de acuerdo al orden previamente establecido.

4.1.1 Fuente de voltaje de CD

La fuente de voltaje de corriente directa proporciona los niveles de voltaje adecuados a los diversos circuitos electrónicos de la tarjeta del medidor. El diseño de la fuente de CD, está basado en la clásica fuente de alimentación con rectificador de onda completa, ya que aun cuando utiliza un mayor número de componentes electrónicos, proporciona aislamiento eléctrico, evitando generar ruido de alta frecuencia que afecta a las comunicaciones al utilizar una fuente de tipo conmutada.

Se requieren dos niveles de voltaje: +5 VCD para la alimentación del microcontrolador PIC16F84, el sensor óptico HOA1406 y el circuito LM567, y +12 VCD para la etapa de transmisión. Para obtener estos voltajes se utiliza un transformador de 120 VCA/12 VCA de 500 mA en el secundario, un puente rectificador encapsulado (NTE5306) y un regulador de voltaje de +5 V (LM7805) con encapsulado tipo TO-220. La Figura 4.2 muestra el diagrama eléctrico de la fuente de alimentación.

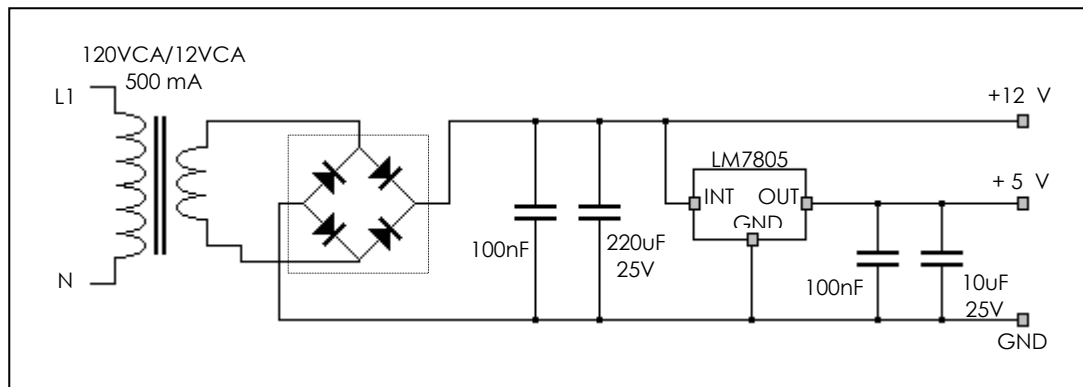


Figura 4.2 Diagrama de la fuente de alimentación

A través del transformador se logra reducir el voltaje de alimentación de 120 Volts de corriente alterna (VAC) presente en las terminales del medidor, a 12 VAC, el cual al pasar por el puente rectificador y es filtrado en los capacitores, se obtiene aproximadamente +12 VCD. Este último voltaje se ingresa al circuito regulador LM7805, obteniendo a la salida + 5 VCD.

Para calcular la corriente máxima que debe proporcionar el transformador, se toma en cuenta el consumo máximo del sensor óptico HOA1406, el del microcontrolador PIC16F84 y el del circuito integrado LM567:

$$I_{max} = I_{HOA1406MAX} + I_{PIC16F84} + I_{LM567} = 50 \text{ mA} + 5 \text{ mA} + 15 \text{ mA} \quad (7)$$

$$I_{max} = 70 \text{ mA}$$

Además como el nivel máximo de voltaje requerido por los circuitos de la tarjeta electrónica del medidor, es de 12 VCD (para la etapa de transmisión), el transformador de 120 VCA/12 VCA de 500 mA, cumple ampliamente con los requerimientos de voltaje y corriente de la fuente de alimentación.

4.1.2 Sensor óptico

Esta etapa cuantifica de manera electrónica los giros del disco del medidor, utiliza un dispositivo electrónico para detectar la presencia o ausencia de una franja de color negro sobre la superficie del disco. Cada revolución equivale a 1/333 de Kilowatthora (constante K_h del medidor). Se utiliza un sensor óptico para transformar la variable a una señal eléctrica.

La señal digital proporcionada por el sensor óptico se envía al microcontrolador, quien almacena esta información para ser enviada posteriormente a la estación central, donde se realiza la multiplicación por la constante K_h , para obtener finalmente el valor del consumo de energía eléctrica en Kilowatthoras.

Para diseñar esta etapa se utiliza el sensor óptico reflexivo HOA1406 de la marca Honeywell®, formado por un diodo emisor infrarrojo y un fototransistor NPN en un solo encapsulado plástico. Las características de este dispositivo que incluyen tamaño reducido, bajo costo, inmunidad a fuentes luminosas distintas al diodo emisor (rayos solares, luz ambiental, etc.), hacen de éste una buena opción para utilizarlo en esta aplicación.

En base a las notas de aplicación del HOA1406, se obtiene el diagrama del circuito electrónico (Figura 4.3), y las formulas para el cálculo del valor de las resistencias R_1 y R_2 , las cuales se aplican a continuación:

$$R_1 = \frac{V_{CC} - V_F}{I_F} \quad (8)$$

Donde:

- V_{CC} Voltaje de alimentación nominal utilizado
- V_F Voltaje nominal del fototransistor
- I_F Corriente nominal del fototransistor

$$R_1 = \frac{5V - 1.6V}{20mA} = 170 \quad \Omega$$

$$R_2 = \frac{V_t}{I_C - I_{IN}} \tag{9}$$

Donde:

- V_t Voltaje de umbral para el SN7404
- I_C Corriente del colector
- I_{IN} Corriente requerida por el SN7404 nivel alto a la entrada

$$R_2 = \frac{1.8V}{20mA - 17mA} = 600 \ \Omega$$

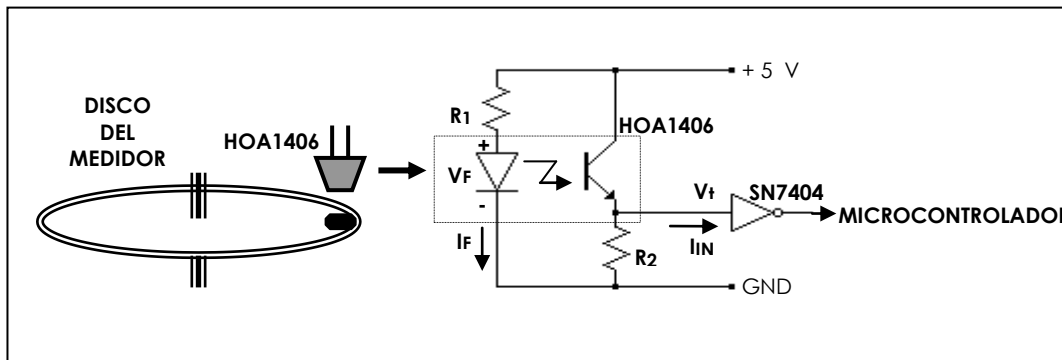


Figura 4.3 Diagrama electrónico del sensor óptico.

En la figura 4.4 se muestra, a través del canal uno (CH1) del osciloscopio, la señal que proporciona la salida del sensor óptico; mientras que en el canal dos (CH2) se observa la señal equivalente después de haber pasado por el circuito inversor (SN7404). La finalidad de realizar el tratamiento de la señal original a través del circuito inversor, es para obtener un nivel de voltaje y cuadratura adecuada, y ésta sea procesada por el microcontrolador sin ningún problema.

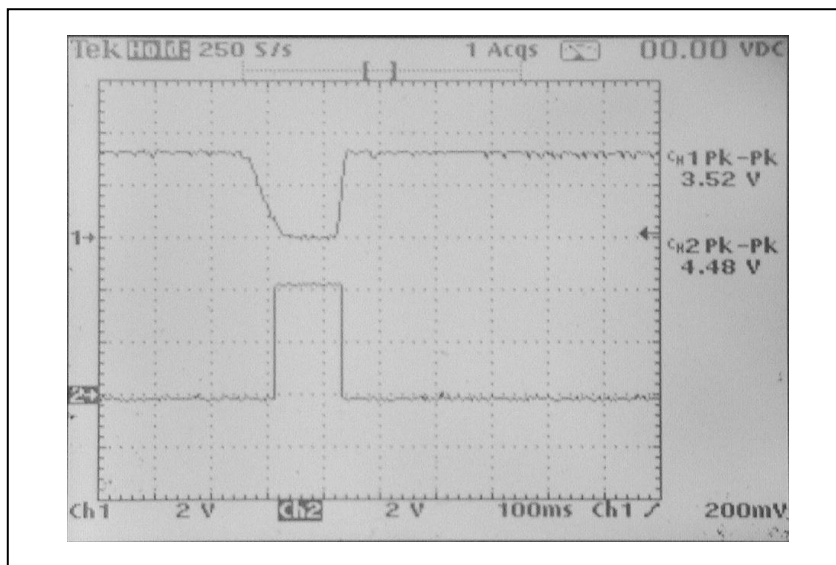


Figura 4.4 Señales de la etapa del sensor óptico

4.1.3 Interfase de acoplamiento a la línea de energía eléctrica.

Como su nombre lo indica, esta etapa tiene la función de acoplar las etapas de transmisión y recepción de la tarjeta del medidor al medio de comunicación a utilizar, es decir en este caso el cableado de suministro eléctrico.

La forma característica de la señal de voltaje presente en redes de baja tensión de distribución de energía eléctrica, es una onda senoidal de amplitud de 120 volts de corriente alterna con una frecuencia de 60 Hz, al ser ésta utilizada como medio de transporte se obtiene un canal de comunicación presente en todos los puntos de la misma red. Las funciones principales de esta etapa son:

- Colocar la señal de transmisión en la onda senoidal de la línea eléctrica.
- Filtrar y extraer la señal de recepción modulada en la línea de energía eléctrica.
- Proporcionar un aislamiento entre la interfase y la línea de energía eléctrica.

El fabricante SGS-THOMSON® recomienda utilizar el transformador T1002N marca TOKO®. Ver Figura 4.5

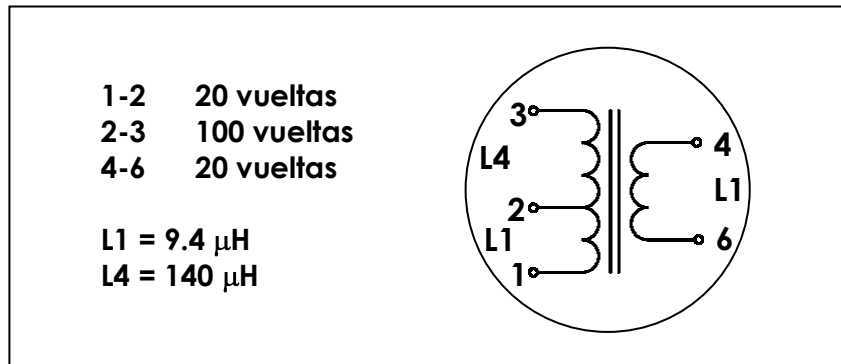


Figura 4.5 Construcción interna y características del transformador T1002N

El circuito propuesto utilizando este transformador se muestra en la Figura 4.6. Los capacitores C1 y C2 eliminan el paso de frecuencias bajas (60 Hz), proporcionan aislamiento capacitivo que evita que la energía eléctrica entre en contacto con el resto del circuito.

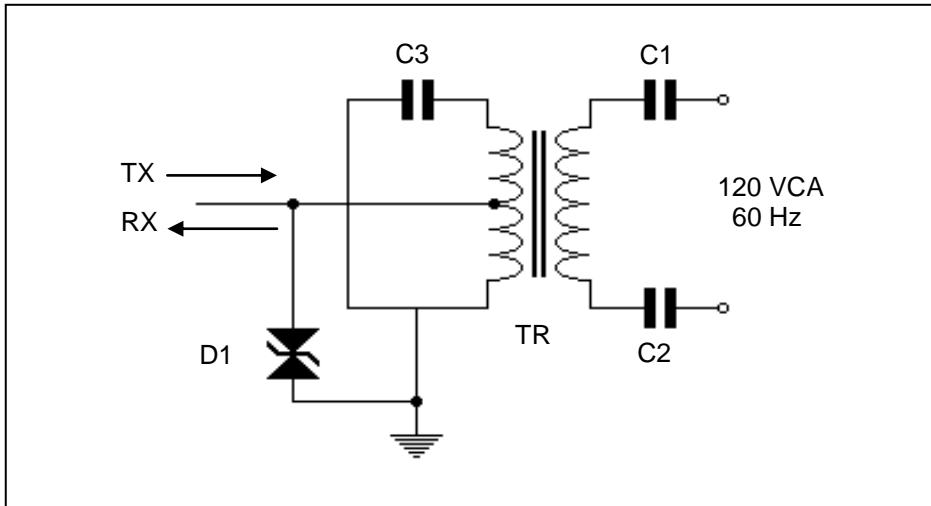


Figura 4.6 Diagrama de la Interfase de acoplamiento a la línea de energía eléctrica

El capacitor C3 conectado en paralelo al embobinado del transformador se utiliza para crear un filtro pasa banda, éste permite filtrar la frecuencia de la portadora que se utiliza en la comunicación de datos. Para calcular el valor del capacitor se requiere conocer el valor de inductancia de los embobinados del transformador y el coeficiente de acoplamiento, y aplicar la siguiente formula:

$$L_{eq} = L1 + L4 + 2M \quad (10)$$

$$M = k * \sqrt{L1 * L4} \quad (11)$$

$$k = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (12)$$

Donde:

L_{eq} Inductancia equivalente

M Inductancia mutua

K Coeficiente de acoplamiento

$$L1 = 9.4 \mu H$$

$$L4 = 140 \mu H$$

Se sustituye en 11, para obtener:

$$M = \frac{1}{\sqrt{2}} * \sqrt{9.4 \mu H * 140 \mu} = 25.7 \mu H$$

$$L_{eq} = L1 + L4 + 2*M = 9.4 \mu H + 140 \mu H + 2*25.7 \mu H = 201 \mu H$$

Con base en las recomendaciones del fabricante, quien sugiere utilizar frecuencias de operación en el rango de 80 a 90 KHz, 130 a 140 KHz y 185 a 195 KHz. La frecuencia de resonancia del filtro se ha seleccionado en 135 KHz, por lo que aplicando la fórmula que define el arreglo LC, determinamos el valor del capacitor.

$$F = \frac{1}{2\pi\sqrt{L*C}} \quad (13)$$

$$C = \frac{1}{2\pi * F^2 * L_{eq}} \quad (14)$$

$$C = \frac{1}{2\pi * 135 \text{ kHz}^2 * 201 \mu H} = 6.9 \text{ nF}$$

El valor comercial del capacitor próximo a 6.9 nF es 6.8 nF.

Como medida de protección contra cualquier elevación repentina de voltaje se coloca un diodo (D1) tipo bidireccional supresor, modelo P6KE6V o similar. De esta forma el nivel de señal en este punto permanece regulado a 6.8 Volts, protegiendo a las etapas de transmisión y recepción de algún daño por alto voltaje.

4.1.4 Etapa de transmisión

Básicamente se requiere transmitir tramas o cadenas de señales binarias (unos y ceros), la combinación de éstas formaran bytes o palabras que equivale a mensajes o comandos de comunicación. En esta etapa es donde los datos a transmitir generados por el microcontrolador (pin 17), se modulan en FSK, se propone utilizar la frecuencia de 135 kHz (generada por el pin 5 del LM567) para el "1 lógico" y la frecuencia de 0 kHz para el "0 lógico". Una vez modulada la señal pasa por un buffer preamplificador, posteriormente se amplifica mediante un arreglo de transistores y se conecta a la interfase de acoplamiento a la línea de energía, para que la señal se propague por la red eléctrica de baja tensión, ver Figura 4.7.

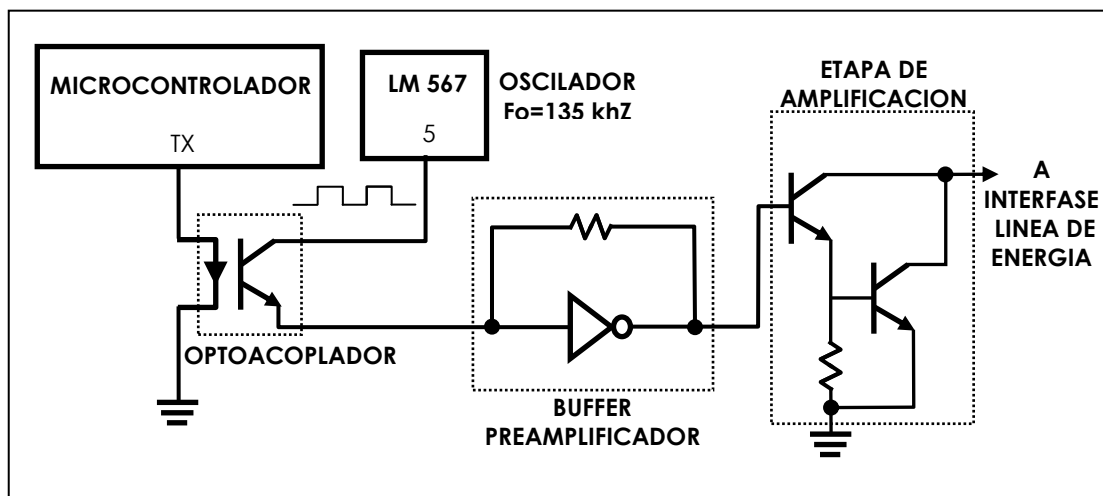


Figura 4.7 Diagrama del circuito de la etapa de transmisión

Posteriormente se necesita recuperar la señal original mediante un proceso inverso denominado demodulación o detección, descrito en el siguiente punto.

Debido a que el demodulador utiliza un circuito PLL cuyo tiempo de detección es de 20 milisegundos y conociendo que un periodo de la onda senoidal de 60 Hz es de 16.66 ms, se propone que la duración del "1" y "0" lógicos sea de 33.33 ms con la finalidad de hacer más eficiente el proceso de modulación y demodulación, de esta forma se envía un bit de información utilizando dos periodos, estableciendo así que la tasa de transferencia de información es de 30 bits por segundo.

4.1.5 Etapa de recepción

La etapa de recepción tiene como propósito fundamental convertir la señal de entrada, modulada en frecuencia que proporciona la interfase de línea de energía, en señales digitales para ser interpretadas por el microcontrolador, recuperando la información contenida en la señal original. Para realizar lo anterior se utiliza un circuito decodificador de frecuencia PLL (Phase Locked Loop).

National Semiconductor® produce el LM567 que es un circuito integrado decodificador de tonos de propósito general, en encapsulado de 8 pines, el cual permite ajustar una frecuencia central (f_o) determinada mediante la incorporación de componentes externos, básicamente resistores y capacitores, el funcionamiento se menciona a continuación.

Como respuesta a una señal de entrada con frecuencia igual a la frecuencia central (f_o) previamente ajustada, el circuito LM567 entrega una señal de nivel bajo (0 VCD) con duración proporcional a la señal de

entrada. En caso de recibir una señal diferente a la frecuencia central no hay cambio en la señal de salida, manteniendo un nivel alto (5 VCD). La representación de la señal se muestra en la figura 4.8.

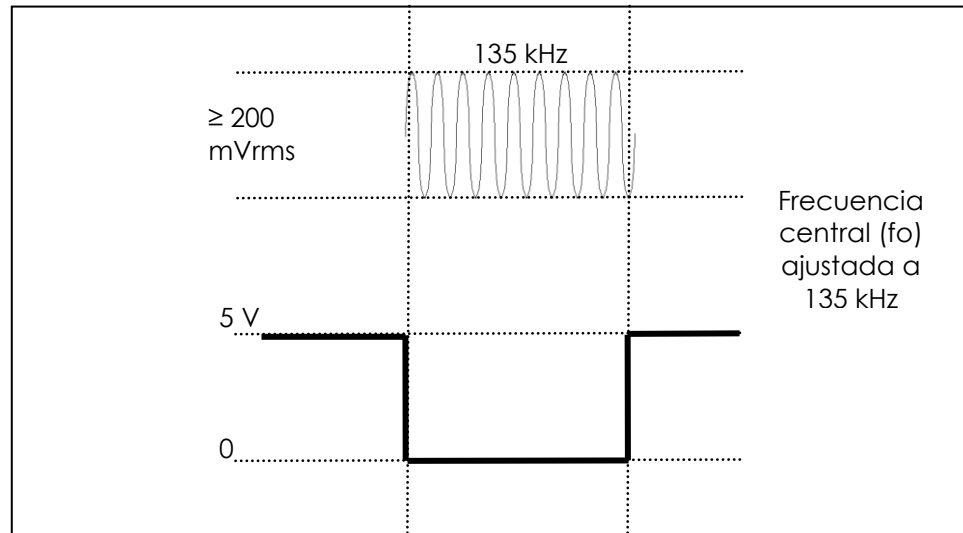


Figura 4.8 Respuesta del circuito LM567

El diagrama propuesto por NATIONAL SEMICONDUCTOR® para el circuito decodificador de tonos, se muestra en la Figura 4.9.

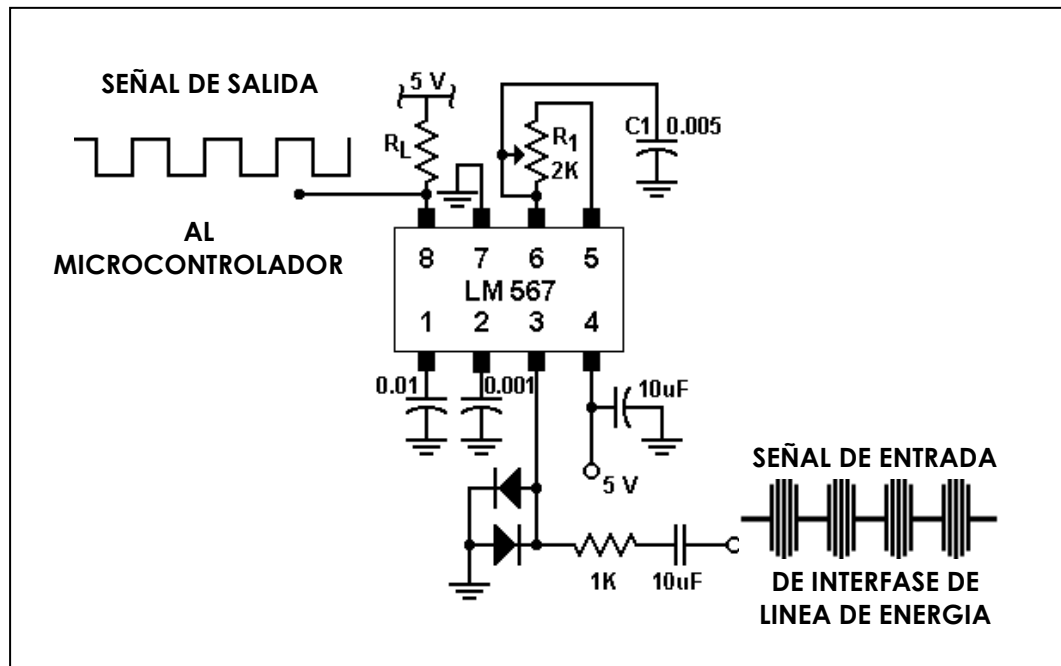


Figura 4.9 Diagrama del circuito decodificador de tonos

El ajuste de la frecuencia central (f_0), el fabricante lo define bajo la siguiente fórmula:

$$f_0 \approx \frac{1}{1.1 * R_1 * C_1} \quad (15)$$

Donde:

R_1 es variable hasta 2 K Ω

f_0 centrado en 135 KHz

De la ecuación 15, se determina el valor de R_1

$$R_1 \approx \frac{1}{1.1 * f_0 * C_1} \quad (16)$$

$$R_1 \approx \frac{1}{1.1 * 135 \text{ kHz} * 0.005 \text{ } \mu\text{F}} \approx \frac{1}{0.000007425} \approx 1346.80 \text{ } \Omega$$

El valor calculado se ajusta a través de potenciómetro R_1 .

4.1.6 Microcontrolador

Parte fundamental e imprescindible lo constituye el microcontrolador, quien es el encargado de ejecutar las diferentes rutinas de programación para coordinar el funcionamiento de las etapas que integran el medidor. De acuerdo al análisis de necesidades para la selección del microcontrolador, se debe tener presente que el dispositivo incluya las características de tamaño reducidas, líneas de entrada y salida, memoria de programa que facilite la programación en repetidas ocasiones, memoria de datos tipo EEPROM, voltaje de alimentación de 5 ó 12 VCD, así como un consumo bajo de corriente.

Entre las diferentes marcas de microcontroladores disponibles en el ámbito electrónico, se optó por utilizar el microcontrolador PIC 16F84® de la marca MICROCHIP®. En base a diversas ventajas que proporciona destacando versatilidad en la programación, facilidad de adquisición en el mercado, funcionalidad a bajo costo, con una gran cantidad de información en Internet para su programación, además de que no necesita una interfase de

programación costosa. A continuación se hace mención de las principales características del dispositivo:

- Memoria de programa tipo flash de 1K x 14
- Memoria de datos RAM de 68 bytes
- Memoria de datos EEPROM de 64 bytes
- 13 líneas de entrada/salida digitales
- Cuatro tipos de interrupciones
- Juego de instrucciones de 35 palabras
- Encapsulado plástico DIP de 18 pines
- Frecuencia de trabajo de 10 MHz máximo.
- Voltaje de alimentación V_{DD} de 2 a 6 VCD
- Watchdog Timer

El código fuente que contiene la programación del microcontrolador y detalles técnicos del mismo, por razones de seguridad para la empresa (C.F.E.), no se pueden exponer en este trabajo, por lo anterior solo se realiza la explicación de las funciones o rutinas que integran la programación.

Dentro de la programación del microcontrolador se incluye un número único de identificación de cada medidor, se utiliza para asignarle un direccionamiento al medidor para establecer la comunicación con el concentrador de datos.

La programación del microcontrolador incluye dos rutinas principales que controlan las funciones básicas del medidor que son:

1. Rutina para contabilizar y almacenar las vueltas del disco del medidor:

Monitorea el pin número uno del microcontrolador habilitado como entrada, al detectar un cambio de nivel bajo-alto (0 a 1), que proviene del sensor óptico, incrementa en una unidad la variable (localidad de memoria) asignada para contabilizar el número de vueltas del medidor y procede a almacenar este valor en memoria EEPROM, asegurando con esto que el registro no se borre en ausencia de energía eléctrica.

2. Rutina de verificación de protocolo de comunicación e identificación de comando:

Monitorea el pin número 18 del microcontrolador habilitado como entrada de datos de la etapa de recepción. Recibe una trama determinada de bits del concentrador de datos, verificando que sea válido de acuerdo al protocolo de comunicación utilizado (protocolo propietario de C.F.E). Si es

correcto comprueba el comando de solicitud de envío de información (número de vueltas del disco del medidor), así como el número de identificación del medidor que corresponda al solicitado, si estas condiciones se cumplen transmite al concentrador de datos la información solicitada y regresa a la rutina 1.

En la Figura 4.10 se observa el diagrama de flujo de las rutinas de programación del medidor.

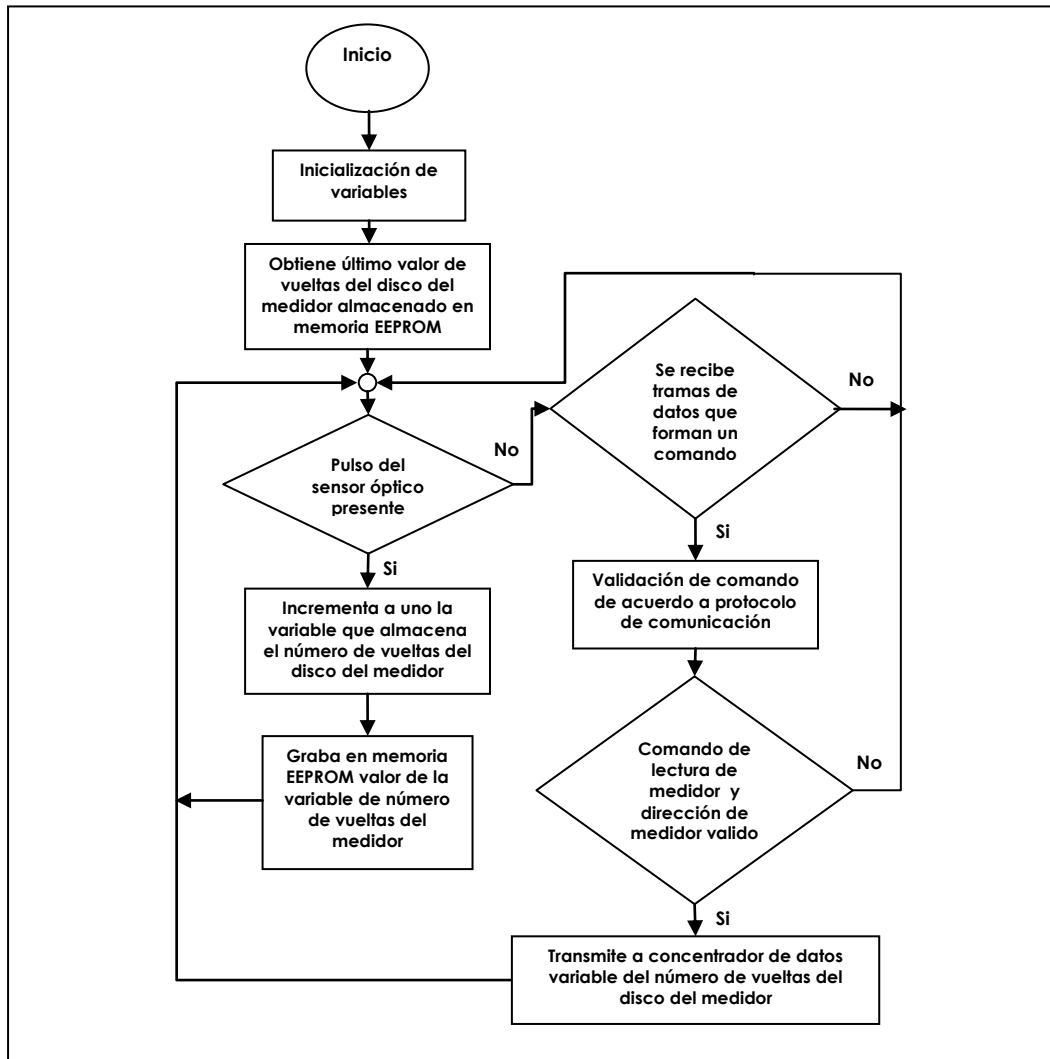


Figura 4.10 Diagrama de flujo de rutinas de programación del medidor

4.1.7 Ensamble e instalación de la tarjeta electrónica del medidor.

Las partes que integran la electrónica del medidor, están incluidas completamente en una tarjeta de circuito impreso, que integra el desarrollo del hardware realizado en este proyecto.

El diseño de la tarjeta de circuito impreso y montaje de dispositivos electrónicos, requiere de un trabajo detallado, debe respetarse las dimensiones y el espacio reducido en el interior del medidor electromecánico, donde se realiza la instalación de la tarjeta sin afectar la funcionalidad del mismo.

Los pasos a seguir para la instalación de la tarjeta en el medidor son los siguientes:

- Retirar la cubierta del medidor.
- Retirar el registro, liberando los tornillos que lo sujetan al marco.
- Realizar dos orificios en el marco y fijar el transformador de la fuente de alimentación, con dos tornillos.
- Realizar un orificio en el marco para fijar el sensor óptico, cuidando que exista una distancia de un centímetro aproximadamente entre éste y el disco, para evitar frenar el giro del medidor. Colocar el tornillo apretando firmemente.
- Insertar el conector del sensor óptico en los pines de la tarjeta electrónica del medidor.
- Colocar la tarjeta electrónica, asegurándola con pegamento a las guías donde se atornilla el registro.
- Conectar los dos cables de alimentación, a las terminales de fase y neutro en la base del medidor.
- Colocar el registro cuidadosamente, verificando que el engrane del registro no entre en contacto con la tarjeta electrónica.
- Verificar que el engrane del registro y el engrane sinfín del eje del rotor, se acoplen correctamente, para asegurar el adecuado funcionamiento del registro del medidor.
- Colocar y asegurar la cubierta a la base del medidor.

En la cubierta del medidor se aplica una capa de pintura gris en el interior, dejando visible la parte frontal, para permitir observar las carátulas del registro del medidor. Esta pintura tiene la finalidad de evitar que los rayos solares incidan directamente sobre la tarjeta electrónica, evitando el sobrecalentamiento de los componentes electrónicos.

La Figura 4.11 muestra la tarjeta de circuito impreso, la colocación de la misma en el medidor y finalmente el medidor ya terminado sin mostrar diferencia con respecto al watthorímetro electromecánico original.

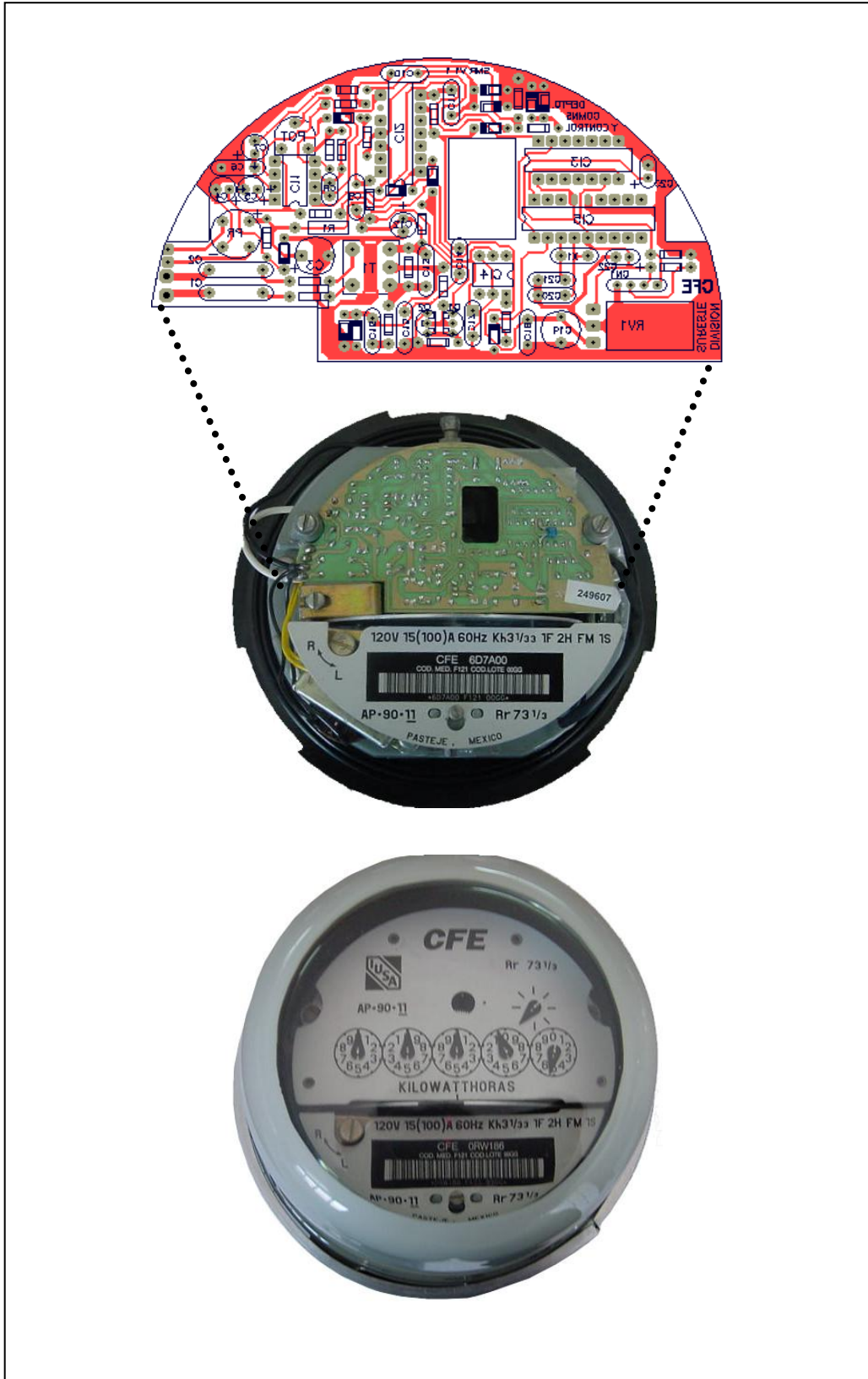


Figura 4.11 Instalación de tarjeta electrónica en medidor electromecánico

4.2 CONCENTRADOR DE DATOS DE MEDICIÓN

Adquiere este nombre en base a las funciones que realiza, por una parte establece comunicación y concentra la información de los medidores instalados en la misma red de baja tensión de 120 VCA, utilizando como medio de comunicación el cableado de energía eléctrica, y por otra parte dispone de un enlace de datos utilizando un equipo de radiocomunicación para enviar la información a la estación central a petición de ésta última, que se ubica generalmente a una distancia lejana. En La Figura 4.12 se muestra el diagrama a bloques del concentrador de datos de medición.

Las partes que integran el concentrador de datos son las siguientes:

- Modulo electrónico principal.
- Fuente de alimentación y respaldo de energía.
- Enlace de radiocomunicación de datos.

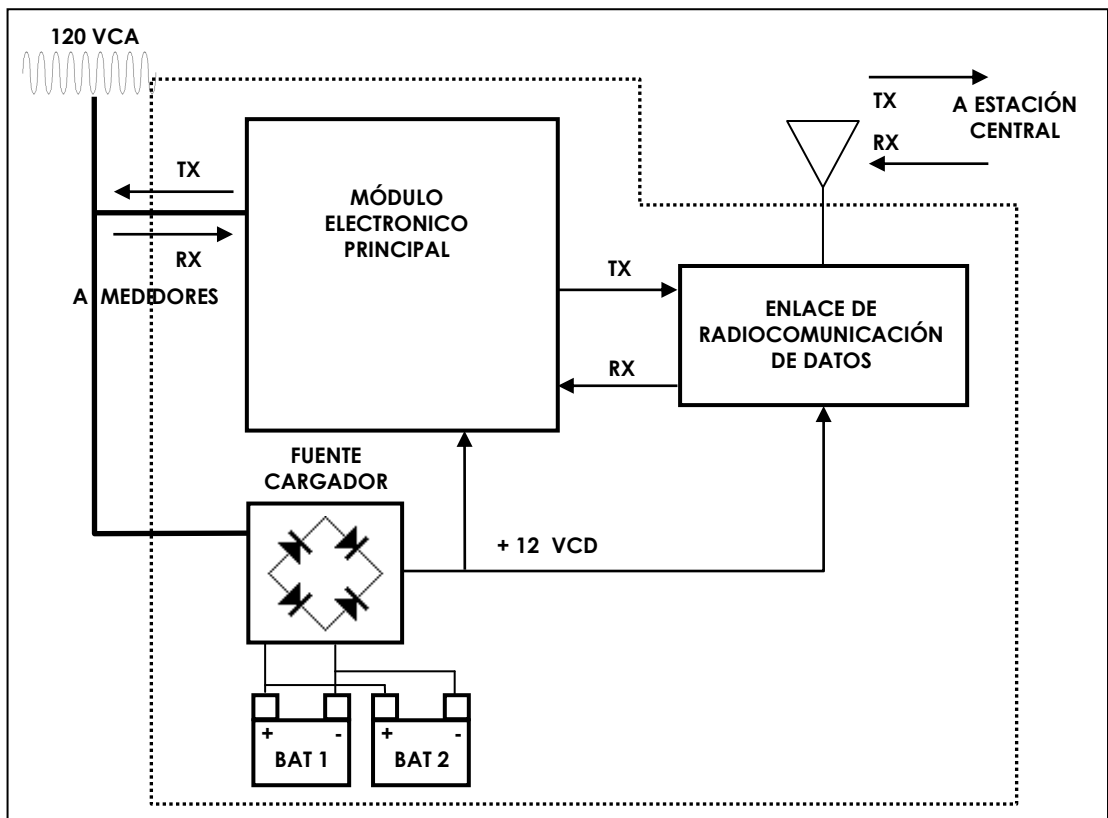


Figura 4.12 Diagrama a bloques del concentrador de datos de medición

A continuación se procede a realizar la descripción de cada una de las etapas que integran el concentrador de datos de medición.

4.2.1 Módulo electrónico principal

Este módulo se compone de una tarjeta electrónica que contiene las mismas etapas presentes en la tarjeta del medidor, con la diferencia que incorpora un puerto de comunicación RS232, por medio del cual se conecta a un equipo modem y un radio para establecer el enlace de datos con la estación central. Otra diferencia importante de la interfase de línea es su diseño, ya que tiene la capacidad de conectarse desde una hasta tres fases de una red de baja tensión. Esta última característica se incorpora debido a que el concentrador debe interactuar con los medidores instalados en las diferentes fases de la red de baja tensión, mientras que en el caso del medidor únicamente establece comunicación a través de la fase a la cual está conectado.

La Figura 4.13 muestra las partes que integran el concentrador de datos de medición, siendo útil el diagrama de bloques para explicar el diseño de cada uno de los componentes.

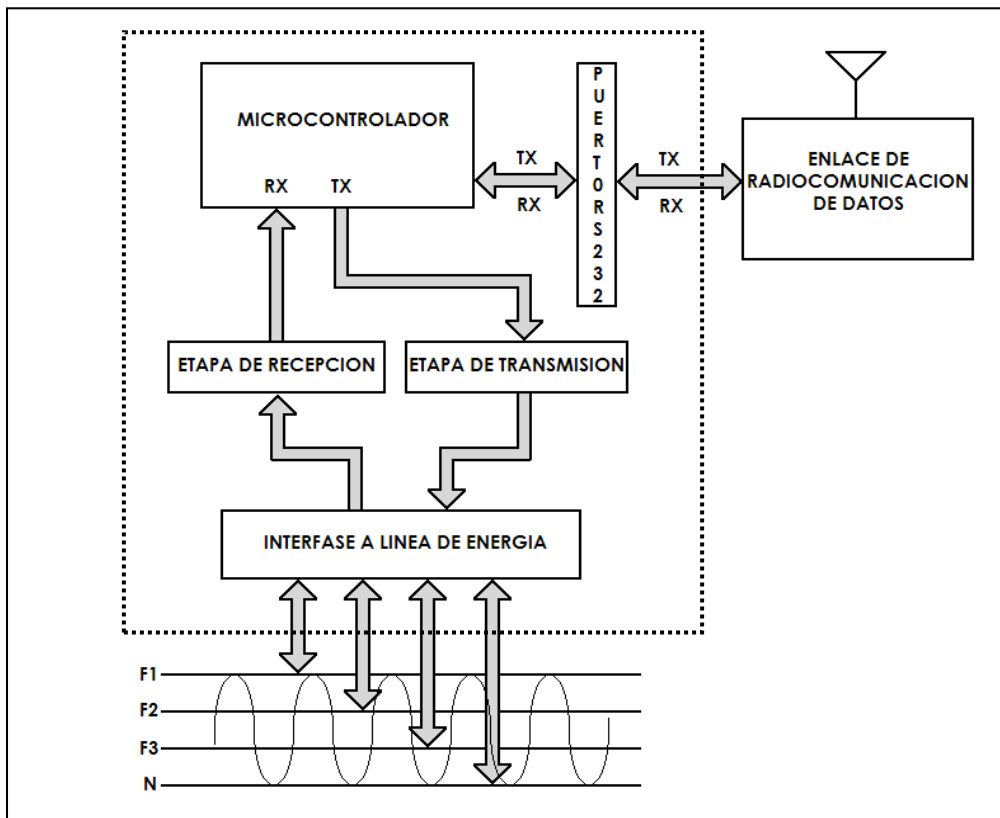


Figura 4.13 Diagrama de bloques del concentrador de datos

4.2.2 Etapa de transmisión y recepción

Estas dos etapas poseen las mismas características de diseño, implementación y funcionalidad que las etapas de transmisión y recepción de la tarjeta electrónica del medidor, descritas en las secciones 4.1.4 y 4.1.5 respectivamente.

4.2.3 Interfase de línea de energía

Esta etapa tiene la misma estructura y principio de funcionamiento que la interfase de línea correspondiente al medidor (sección 4.1.3), es decir se conecta directamente a la fase y neutro de la red de distribución, con la finalidad de establecer un enlace de comunicación a través de la línea de energía eléctrica, realizando la transmisión y recepción de datos.

La diferencia la constituye el número de interfases, que en el caso del concentrador de datos de medición, pueden ser dos o tres conectadas en paralelo, dependiendo del número de fases que integran la red de baja tensión en la cual será instalado el concentrado de datos. Ver Figura 4.14.

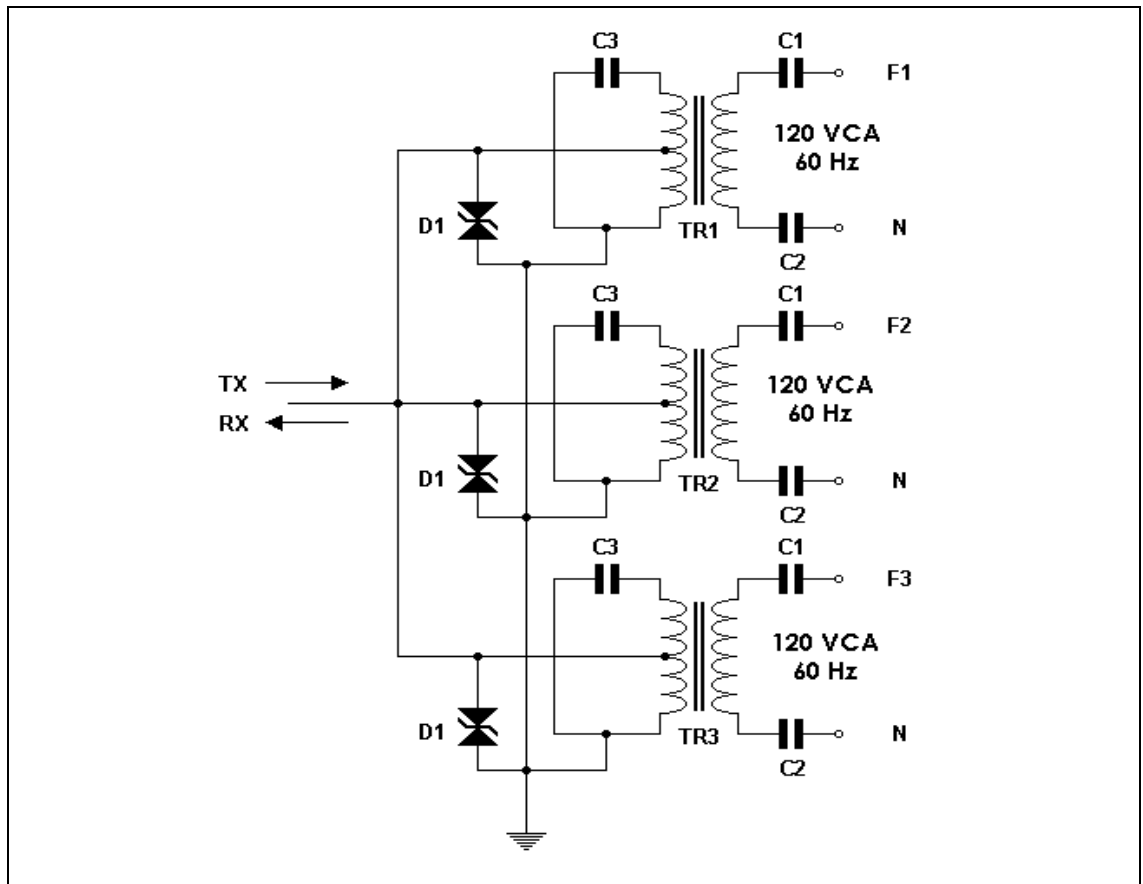


Figura 4.14 Interfase a línea de energía del concentrador de datos.

4.2.4 Microcontrolador

Es la unidad central de procesamiento (CPU) del módulo electrónico principal del concentrador, se encarga del control, manejo y adquisición de datos, mediante la ejecución de los diferentes comandos programados. Así mismo establece comunicación con la estación central para el intercambio de información. Todo esto lo realiza a través del microcontrolador PIC16C65A de la firma Microchip®.

Este microcontrolador cuenta con memoria de programa interna, permitiendo el cálculo de operaciones con gran rapidez, manejo flexible de dispositivos periféricos como displays de LCD, memorias EEPROM, rutina programada de "Watch-Dog" integrada, además de fácil adquisición.

Características principales del PIC 16C65A:

- Memoria de programa EPROM de 4K x 14
- Memoria de datos de 192 bytes
- 33 líneas de Entrada/Salida
- 11 fuentes de interrupción
- Encapsulado tipo DIP de 40 pines
- Rango de voltaje de alimentación de 2.5 a 6 VCD
- Periféricos incluidos I²C, USART
- Frecuencia de operación máxima 20 MHz.

Al igual que la programación del microcontrolador del medidor, el código fuente del concentrador de datos no puede ser expuesto en el presente trabajo, por tener C.F.E. los derechos de autor, solo se hace mención de las dos rutinas principales del concentrador de datos que actualmente se tiene implementadas:

- **Leer medidor individual**
- **Leer conjunto de medidores**

Las rutinas de programación del microcontrolador del concentrador, se muestran a través del diagrama de flujo de la Figura 4.15. A continuación se realiza una explicación de las mismas:

Leer medidor individual. El concentrador recibe este comando de la estación central, a través del puerto serial, la trama recibida se verifica para determinar si corresponde al formato del protocolo de comunicación utilizado por el concentrador de datos (protocolo propietario de C.F.E.); si el formato es válido, se procede a verificar el número de identificación único de cada concentrador, así mismo se identifica que el comando recibido sea la solicitud de leer un solo medidor. En este caso se envía el comando leer medidor y el identificador del medidor, a través del enlace de datos por la red eléctrica, y espera un tiempo definido para recibir la información solicitada (aproximadamente 20 segundos en base a los tiempos calculados de duración de la transmisión del comando, procesamiento del mismo y respuesta del medidor); al llegar la información del medidor se muestra en la pantalla de cristal líquido (LCD) y se procede a grabar estos datos en memoria EEPROM. Finalmente el concentrador envía esta información a la estación central, a través del canal de comunicación serial y el medio de radiocomunicación de datos. Si la trama recibida no es correcta debido a interferencia o ruido en el canal, la secuencia termina y queda en espera de otro comando por parte de la estación central.

Leer conjunto de medidores. Al igual que la rutina anterior, el concentrador recibe este comando de la estación central, a través del enlace radiocomunicación de datos (puerto serie), la trama recibida se verifica para determinar si corresponden al formato del protocolo de comunicación utilizado por el concentrador de datos, si el formato es válido, se procede a verificar el número de identificación único de cada concentrador. Si identifica que el comando corresponda a leer medidores en conjunto procede a ejecutar la rutina para interrogar a todos los medidores que tiene configurados el concentrador, siguiendo una secuencia de interrogación a cada medidor ejecutando los mismos pasos contenidos en la rutina leer medidor individual, hasta concluir con todos los medidores. Como últimos pasos de esta rutina se realiza un acceso a la memoria EEPROM, se extrae la información de la localidad de memoria correspondiente al primer medidor y se envía la información a la estación central, a través del canal de comunicación serial y el medio de radiocomunicación de datos, esta secuencia se repite hasta concluir con todas las localidades de memoria que equivalen a los medidores configurados en el concentrador.

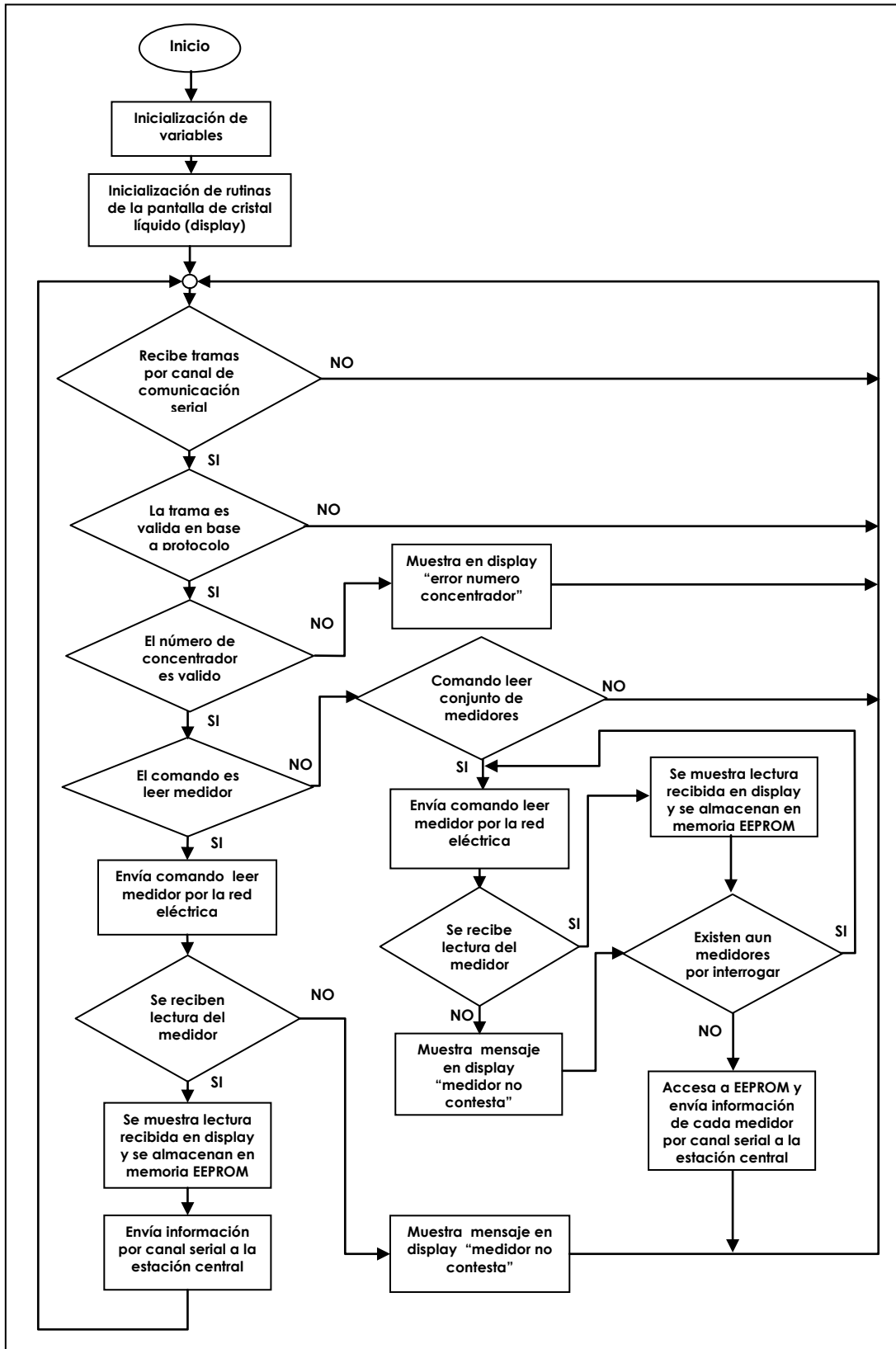


Figura 4.15 Diagrama de flujo de las rutinas de programación del concentrador

4.2.5 Puerto de comunicación serial

La tarjeta electrónica del concentrador de datos cuenta con un puerto serial basado en el estándar de comunicación RS-232, con una velocidad de 600 bps, disponible a través de un conector DB-9 hembra. Se utiliza para establecer el canal de transferencia de datos con la estación central, a través de un enlace de radiocomunicación. También puede ser utilizado como puerto terminal de datos para conectar una PC y realizar los mismos procesos que la estación central pero en forma local, es de gran utilidad durante las pruebas de instalación o labores de mantenimiento.

El puerto serial se basa en el circuito integrado MAX232 de la marca MAXIM®, a través del cual las señales de TX y RX del microcontrolador con niveles TTL (0 y 5 VCD), se transforman a niveles RS-232 (-12V y +12 V). El fabricante propone el circuito de la Figura 4.16 para obtener una interfase serial.

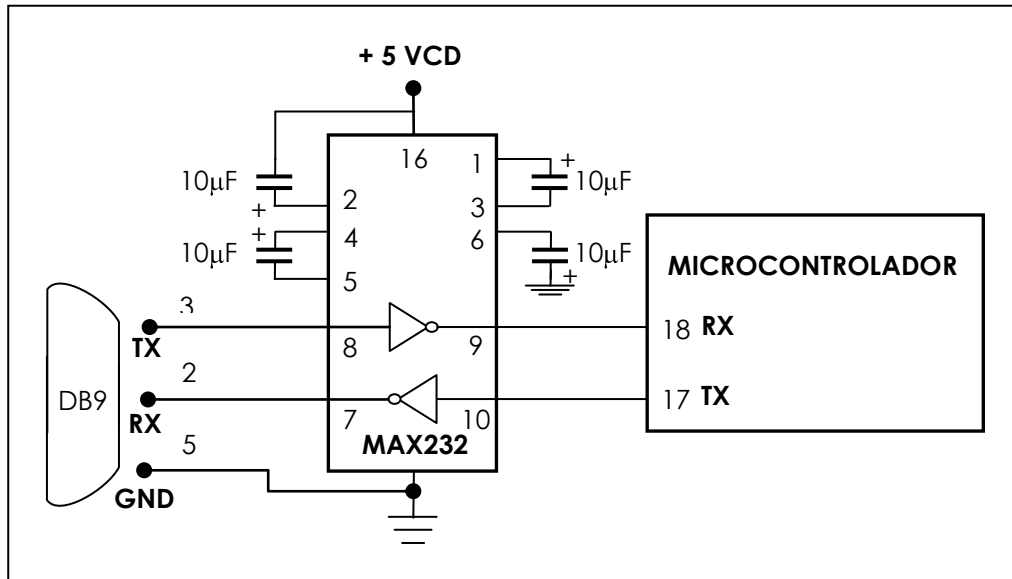


Figura 4.16 Diagrama del circuito RS-232

4.2.6 Fuente de voltaje y respaldo de energía.

El esquema de alimentación de voltaje de corriente directa del concentrador de datos de medición, resulta de vital importancia, ya que además de contemplar una fuente de voltaje con entrada de 120 VCA (+/-15%) y salida de voltaje regulado a 12 VCD; este equipo incluye un cargador de baterías con voltaje de operación de 12 VCD y amperaje de carga de 15 A, complementado con un banco de baterías compuesto de dos baterías selladas de 12 V, con capacidad de 7 A-hora cada una. De esta forma en caso de ausencia de energía eléctrica, el respaldo de

energía suministra el voltaje al concentrador de datos, asegurando la continuidad de operación del sistema, por espacio de 5 horas, realizando una comunicación con la estación central cada hora.

4.3 ENLACE DE RADIOCOMUNICACIÓN DE DATOS

Para realizar la transferencia de información entre la estación central y el concentrador de datos, se requiere utilizar un medio de comunicación que asegure el manejo de los datos aun cuando la distancia entre los puntos sea de varios kilómetros.

Se puede emplear para realizar el enlace un medio de comunicación basado en señales eléctricas, ópticas o electromagnéticas, la elección básicamente se centra en la infraestructura disponible y en los costos de implementación.

Una buena opción para realizar la transferencia de información entre el concentrador de datos y la estación central, se integra de dos partes o secciones (Figura 4.17), que son:

- **Módem**
- **Equipo de radio comunicación**

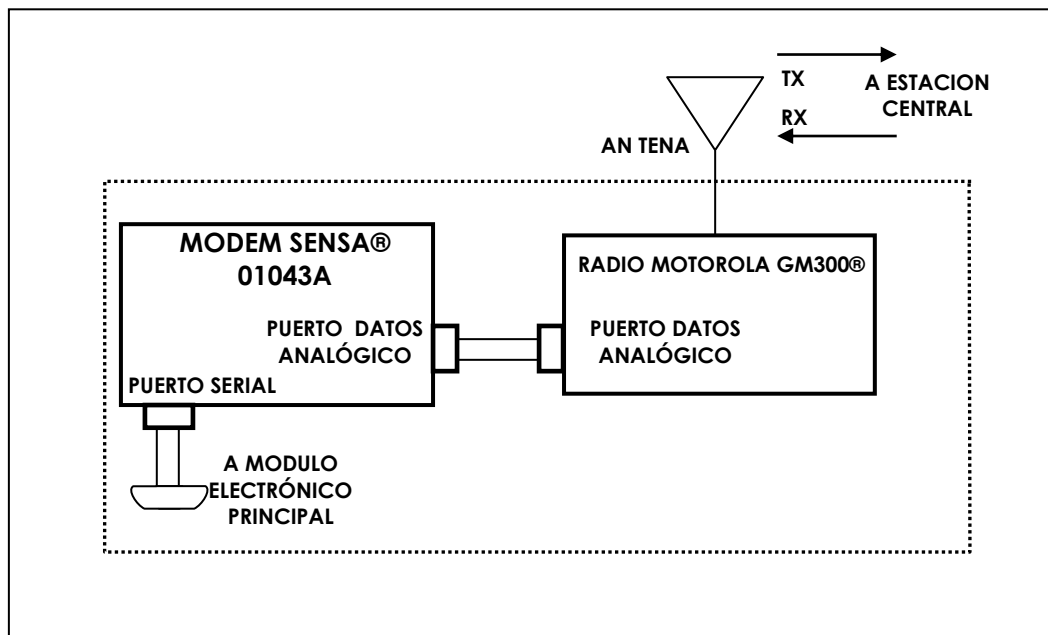


Figura 4.17 Diagrama a bloques de enlace radiocomunicación de datos

4.3.1 Equipo módem

El equipo módem a utilizar es el modelo IC01043A de la firma SENSE CONTROL DIGITAL®. La elección de este equipo se basa en la experiencia comprobada al utilizar éste en diversos equipos de control supervisorio adquiridos por C.F.E., donde el esquema presenta un funcionamiento correcto, permitiendo acoplar un equipo de radio en la banda VHF/UHF-FM a cualquier equipo terminal de datos, en nuestro caso la estación central y el concentrador de datos.

El proveedor SENSE CONTROL DIGITAL S.A. DE C.V. construye el equipo módem en base a circuitos con tecnología CMOS y de alta escala de integración, lo cual proporciona un buen desempeño de funcionamiento electrónico, baja inmunidad al ruido, amplio rango de temperatura de operación con un bajo consumo de energía. Utiliza el circuito integrado AM7911 de AMD (Advanced Micro Devices), que contiene los circuitos de conversión análogo-digital, y digital-analógico reduciendo con ello los componentes electrónicos externos, obteniendo las señales requeridas para la comunicación bajo la norma RS-232, utiliza la técnica de modulación FSK, siendo útil para aplicaciones en líneas dedicadas[6].

De esta forma las dos funciones básicas del módem son:

- Transformar la información del canal de comunicación serial RS-232 (señales con niveles TTL) a una señal modulada en FSK para acoplarla al canal analógico, es decir el proceso de modulación.
- Transformar la información proveniente del canal analógico, modulado en FSK, a niveles TTL para adecuarla al canal de comunicación serial, es decir el proceso denominado demodulación

Por ejemplo la norma BELL 103, establece una modulación por corrimiento de frecuencia (FSK) donde el nivel lógico "1" es igual a 1270 Hz, mientras que el nivel lógico "0" será igual a 1070 Hz.

Las características principales del equipo IC01043A incluyen:

- Compatible con los estándares de comunicación recomendados por BELL y CCITT para módems tipo 103/113/108, 202, V.21 y V.23.
- Velocidades de 300, 600 ó 1200 bps, configuradas por dip switches
- Ajustes de sensibilidad de recepción, nivel de transmisión, retardo de RTS/CTS, retardo de CD y estándar de comunicación utilizando dip switches

Dispone en el panel frontal de 6 indicadores luminosos (LED's) en los cuales se visualiza el estado en que se encuentran las señales que maneja el módem:

- ON LINE Equipo en operación.
- BUSY Canal ocupado.
- RTS Requerimiento para enviar datos.
- CD Detección de portadora.
- RD Recepción de datos.
- TD Transmisión de datos.

Para la comunicación vía radio, se requiere utilizar las siguientes señales:

- Señal de audio de recepción (RX)
- Señal de audio de transmisión (TX)
- Señal de habilitación de transmisión (PTT).
- Señal de verificación de canal ocupado (Squelch SQ)

En la parte posterior el equipo cuenta con dos conectores, un RJ-45 dedicado para el enlace analógico de comunicación, utilizado para interconectar el módem a un equipo de radiocomunicación. También tiene un conector DB-25 para conectar el módem al puerto RS-232 de la tarjeta electrónica principal del concentrador de datos.

4.3.2 Equipo de radiocomunicación

El equipo de radiocomunicación propuesto es un radio tipo móvil marca Motorola®, modelo Radius M130®. Las características del equipo se muestran en la Tabla 4.1.

Banda de operación	VHF
Rango de frecuencias	146-174 MHz
Potencia de RF	25-45 Watts
Canales de operación	2 canales
Consumo de corriente típico	1.5 A en modo de recepción 15 A. en modo de transmisión(Máximo)
Espaciamiento de canales	12.5/25 kHz

Tabla 4.1 Características generales equipo de radio Radius M130 Motorola®

Es posible utilizar cualquiera de los siguientes modelos: M120®, RADIUS GM300® y Pro3100®, ya que poseen características similares, son compatibles en niveles de audio y disponen de las mismas señales de control.

La antena a utilizar por este equipo es tipo omnidireccional de 3 dB de ganancia, 5/8 de onda, que asegura un enlace confiable punto a punto, a distancias menores a 30 kilómetros con línea de vista.

La antena modelo MHB-5800 marca Maxrad®, tiene las características requeridas en el proyecto, con un rango de operación de 144 a 174 MHz, soporta hasta 200 W de potencia del transmisor.



Figura 4.18 Equipo de Radiocomunicación móvil y antena VHF

En la Figura 4.19 se muestra la configuración de los cableados de conexión del puerto RS-232 y analógico, así como la tabla de señales requeridas para realizar la interconexión del módem al equipo de radiocomunicación.

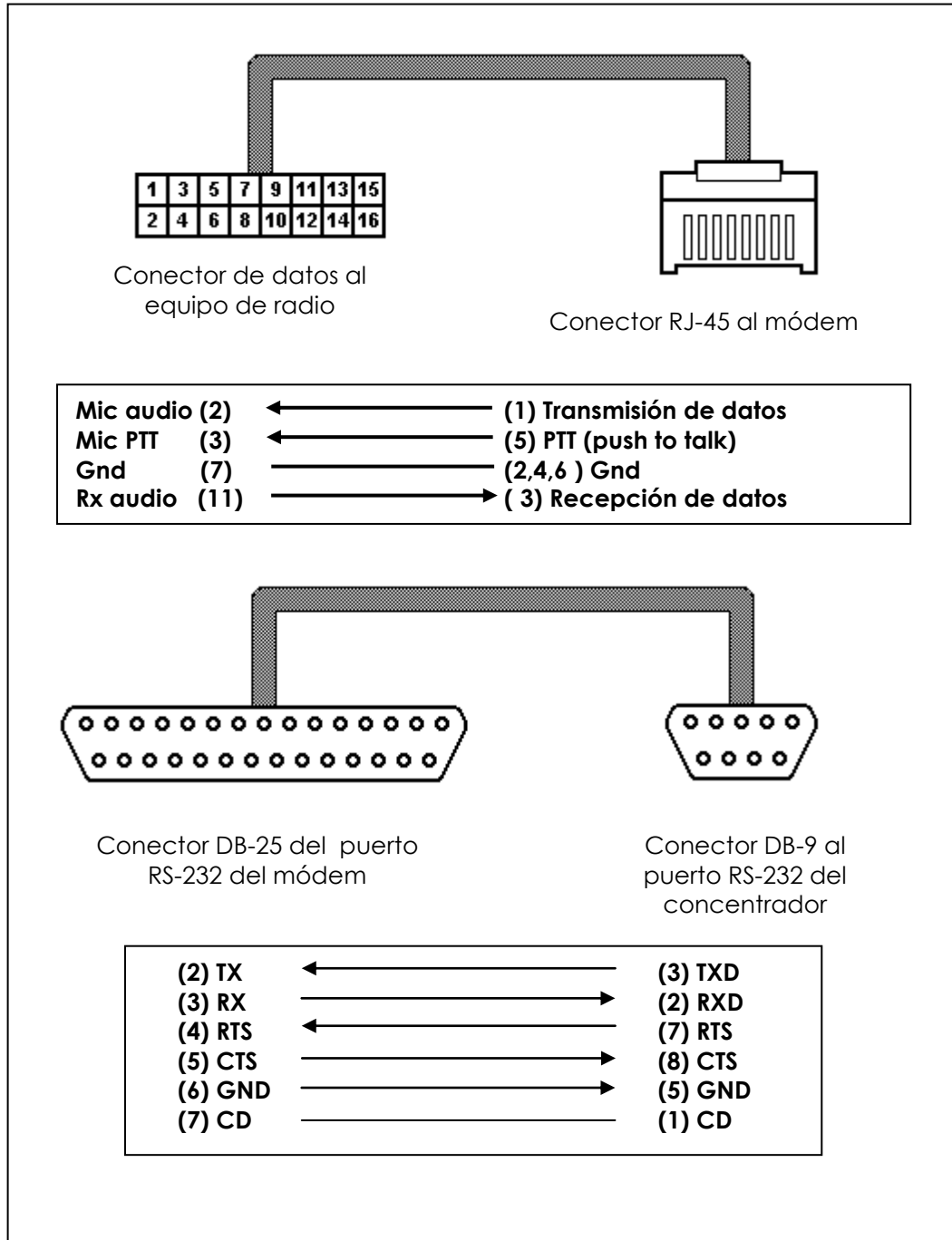


Figura 4.19 Diagrama de conexiones y señales del módem y radio

4.3.3 Ensamble del concentrador de datos.

El concentrador de datos de medición, también incluye una tarjeta de circuito impreso, para instalarse junto con la tarjeta módem, la fuente de alimentación, cableado de alimentación y de datos, en el interior de un gabinete metálico cuyas características de acabados, dimensiones y accesorios se consideraron, para ofrecer facilidad en el armado e instalación del concentrador de datos. Ver Figura 4.20

El gabinete es el modelo A-16H19BL marca Hoffman®, cumple con la especificación requerida para su instalación al aire libre, proporcionando adecuada protección en condiciones normales de operación, contra el polvo y agua dirigida directamente sobre el gabinete, además cuenta con pintura de alta duración [3].

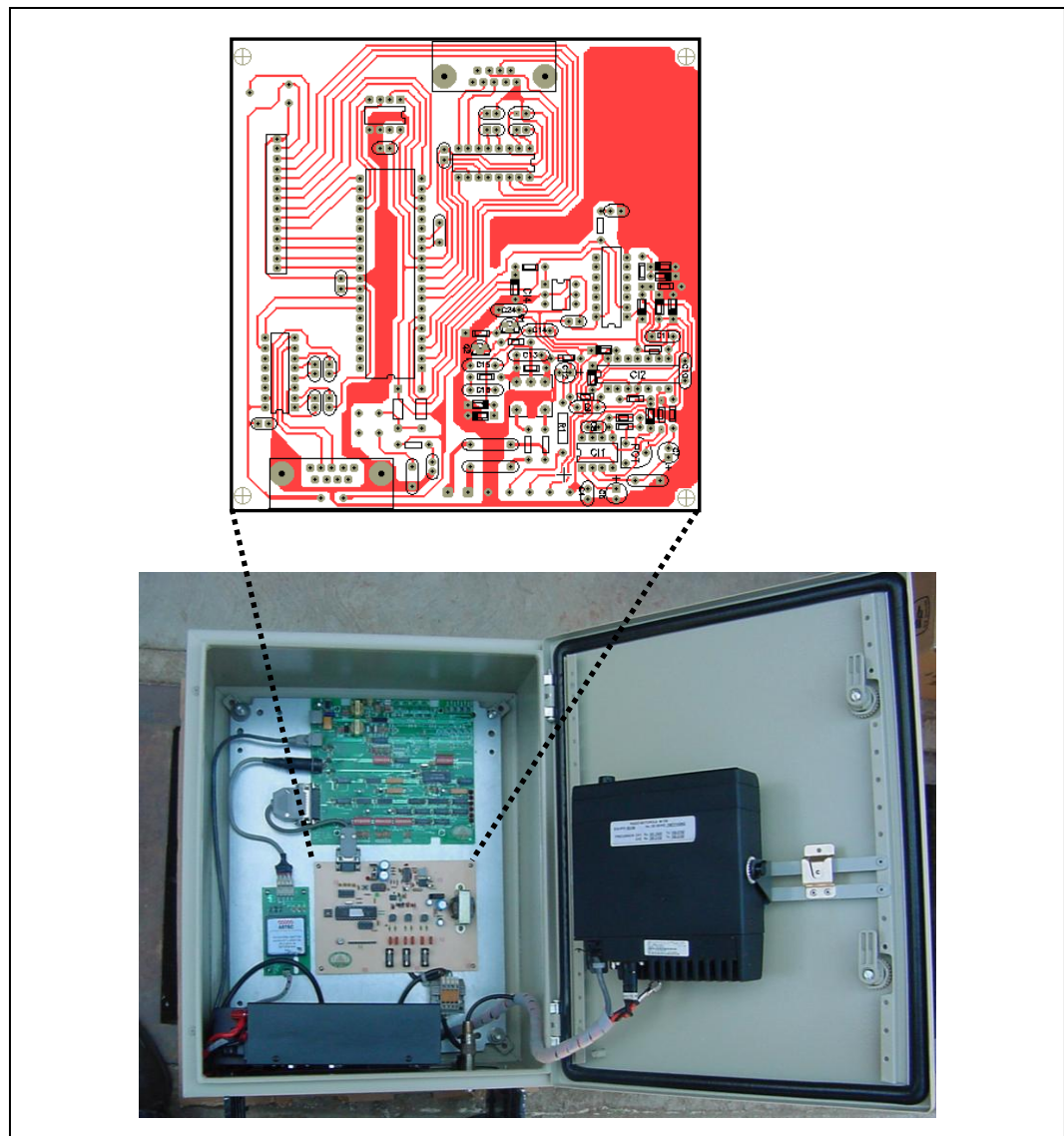


Figura 4.20 Instalación en gabinete de las partes que integran el concentrador de datos

4.4 ESTACIÓN CENTRAL

La estación central se compone de una computadora personal (PC), que se encuentra instalada en una agencia comercial u oficina de C.F.E., tiene instalado y funcionando un software propietario, especialmente desarrollado para recibir la información de los diferentes concentradores de datos, vía enlace de radiocomunicación. Cada concentrador envía la información de los medidores que se encuentran instalados en la red de baja tensión previa solicitud de la estación central. Con los datos obtenidos y mediante la aplicación del factor Kh de cada medidor, determina el consumo de energía eléctrica en Kilowatthoras, de cada uno de los medidores. Este último valor junto con los datos del usuario (numero de medidor, numero de servicio, etc.), se incluyen en un archivo que es enviado al servidor del sistema comercial (SICOM®), para realizar el procesamiento y emisión de recibos de pago de consumo de energía eléctrica.

El software de la estación central ofrece las siguientes características:

- Muestra las diferentes opciones a través de ambiente de ventanas (desarrollado en ambiente Windows®).
- Permite enviar comandos al concentrador para leer un medidor.
- Permite interrogar a los medidores de un concentrador, en forma automática, a través del comando leer conjunto de medidores.
- Manejo y respaldo de información, para generar reportes históricos.

Con la información recuperada del total de medidores instalados en una red de baja tensión, se puede procesar estos datos para conocer el estado de operación que presenta una red de baja tensión en particular, permitiendo con esto una mayor facilidad para la toma de decisiones.

La estación central se integrada de las siguientes partes:

- PC con procesador Pentium III® a 450 MHz o superior
- Equipo Módem marca Sensa® Modelo IC01043A
- Equipo de radiocomunicación tipo móvil

En la Figura 4.21, se observa el diagrama de bloques de la estación central.

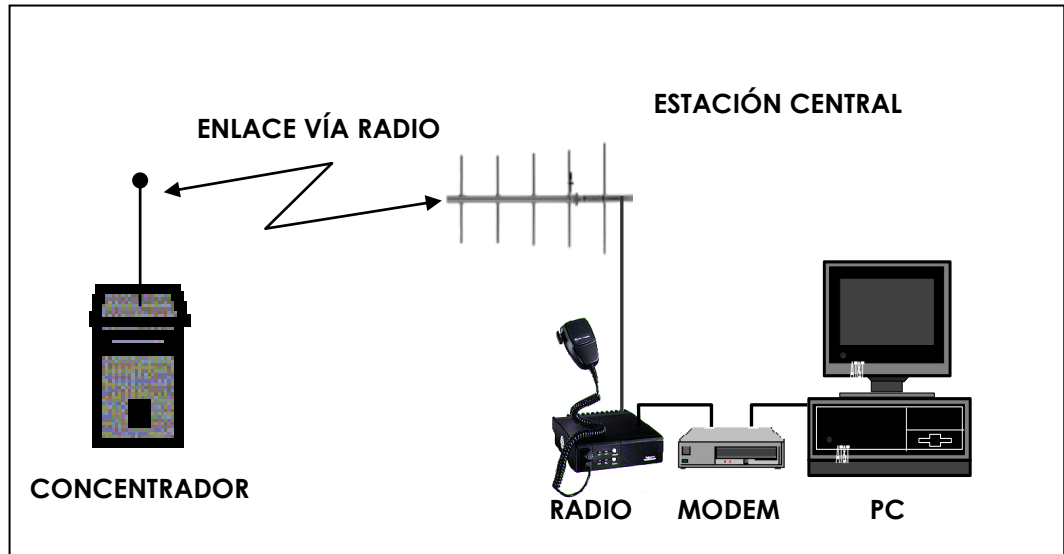


Figura 4.21 diagrama de bloques de la estación central

El hardware de la estación central utiliza los mismos componentes que el enlace de radiocomunicación de datos del concentrador (sección 4.3), a excepción de un cambio en el tipo de antena utilizado. En el caso de la estación central, utiliza una antena tipo direccional de 5 elementos, con una ganancia de 9.3 dB, banda de operación VHF 150 a 174 MHz, de 200 watts, modelo MYA-1505K, marca Maxrad®; la cual asegura un enlace confiable punto a punto con el concentrador de datos.

La figura 4.22 muestra un ejemplo del comando leer medidor individual del software de la estación central.

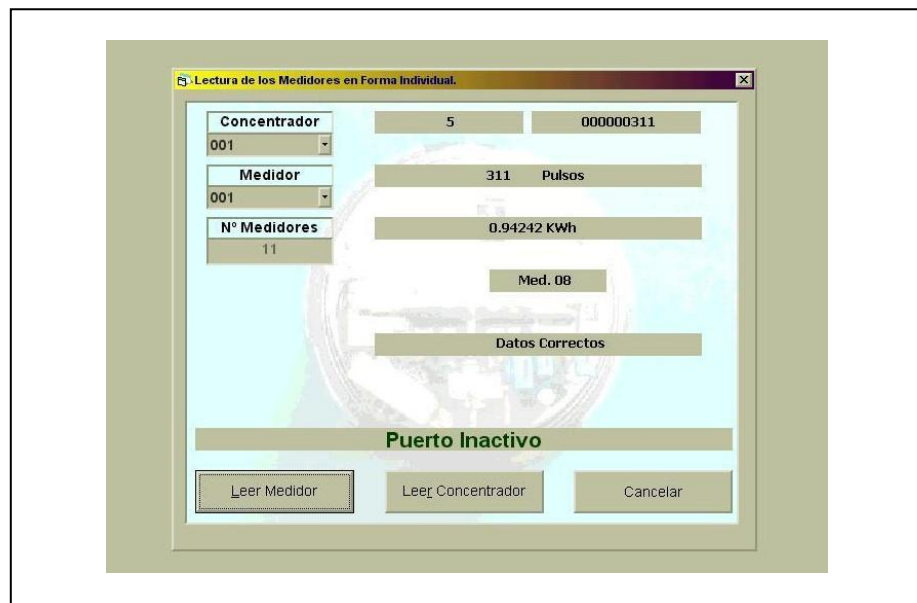


Figura 4.22 Pantalla de la estación central del comando Leer medidor individual

5

Puesta en servicio del Sistema de Medición

La puesta en servicio del sistema de medición remota de energía eléctrica contempla dos etapas principales; la revisión y ajustes en laboratorio previo a la instalación, y una vez que los equipos se encuentren totalmente verificados se procede a la instalación del sistema en campo, de acuerdo al lugar previamente definido. Por lo anterior se procede a realizar la explicación de estas dos etapas:

5.1 REVISIÓN Y AJUSTE EN LABORATORIO

Una vez que las partes de los medidores y concentradores se encuentran totalmente ensamblados, se requiere realizar una revisión y ajustes de los parámetros de operación de cada uno de ellos, con la finalidad de evitar contratiempos en la instalación y puesta en servicio. Estas actividades involucran a los medidores, concentrador de datos y la estación central, las cuales se describen a continuación:

- **Revisión y ajuste de los medidores y concentrador de datos.**
- **Revisión y ajuste del equipo de comunicación de la estación central y concentrador de datos.**
- **Prueba en laboratorio de medidores, concentrador y estación central.**

5.1.1 Revisión y ajuste de los medidores y concentrador de datos.

Es necesario realizar la verificación de las frecuencias de transmisión y recepción de cada uno de los medidores, ésta se realiza a través de un osciloscopio, conectado en puntos de prueba de la tarjeta electrónica del medidor. En caso de requerir ajustes en la frecuencia de recepción y transmisión, deberá ser realizado un ajuste del potenciómetro R1 del circuito LM567 [capítulo 4, sección 4.1.5], hasta obtener la frecuencia correcta. El mismo procedimiento deberá ser realizado para el modulo electrónico del concentrador de datos, debido a que contiene las mismas etapas de transmisión y recepción de la tarjeta electrónica del medidor.

En todos los wathhorímetros que se instalan debe ser verificada la calibración por parte de la C.F.E, con la finalidad de asegurar la confiabilidad de la medición del consumo de energía eléctrica, en el caso de los medidores que tienen incorporada la tarjeta electrónica, no es la excepción, por lo cual se solicito al Departamento de Medición y Servicios de la Zona de Distribución Oaxaca, realizar la calibración de los medidores a fin de determinar la existencia de alguna alteración y en su caso, realizar los ajustes correspondientes.

5.1.2 Revisión y ajuste del equipo de comunicación de la estación central y concentrador de datos

La revisión consiste en verificar la frecuencia, parámetros de transmisión y recepción programada, en los equipos de radiocomunicación de datos del concentrador y la estación central. Para determinar estos valores se utiliza un wattmetro para medir la potencia directa y reflejada del equipo de radiocomunicación, considerando la primera como medida optima un valor próximo al 90 % de la potencia máxima del equipo utilizado, mientras que el valor de la reflejada debe ser menor al 5 % de la potencia directa [2]. Con un analizador de sistemas de comunicación se revisa la sensibilidad del receptor, desviación en frecuencia y modulación de audio.

5.1.3 Prueba en laboratorio de medidores, concentrador y estación central

Esta prueba se realiza con la finalidad de verificar el funcionamiento completo del sistema a nivel laboratorio. Se coloca en un tablero de pruebas hasta un total de doce medidores, el tablero también tiene instalado un concentrador de datos. Una carga de prueba se conecta a los medidores para simular el consumo de energía eléctrica de los usuarios. Los medidores deben tener un valor igual a cero en el registro mecánico (manecillas de las carátulas), y registro electrónico (localidad de memoria EEPROM).

Se conecta una computadora, que tenga instalado el software de la estación central, al puerto serie del concentrador de datos, y se procede a ejecutar el comando leer medidor, observando si los medidores responden de acuerdo a la solicitud correspondiente a cada medidor. Ver Figura 5.1.

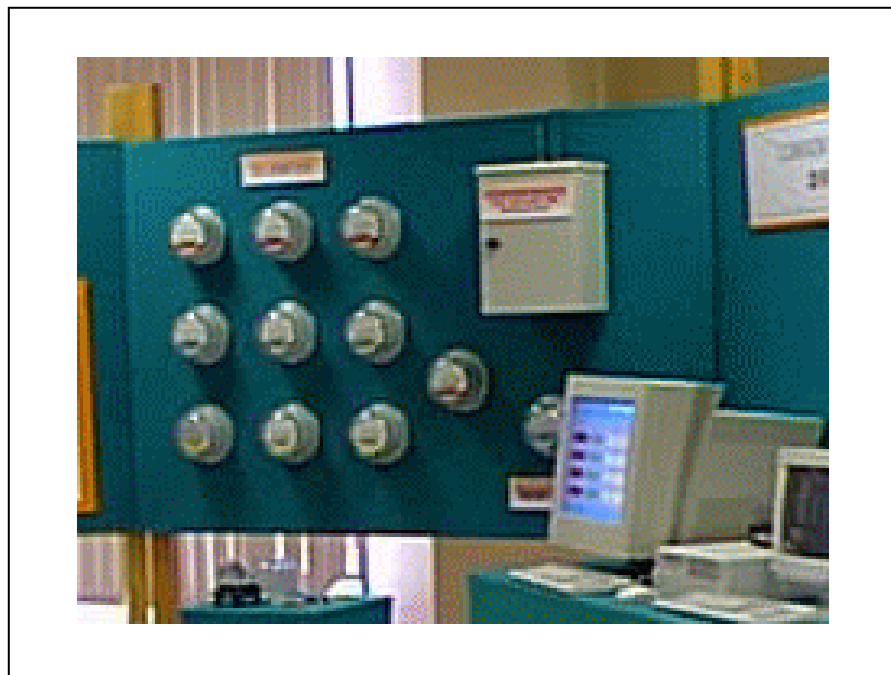


Figura 5.1 Tablero de pruebas de laboratorio de medidores y concentrador

La prueba se da por concluida cuando se observa que los medidores hayan registrado un consumo superior a un Kilowattthora, verificando en cada uno de ellos que los valores obtenidos en la estación central, sea el equivalente al mostrado por las carátulas del medidor.

Después de que los medidores superan satisfactoriamente estas pruebas, se tienen las condiciones adecuadas para proceder con la puesta en servicio.

5.2 PUESTA EN SERVICIO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN.

Para la puesta en servicio del Sistema de Medición de Energía eléctrica, se selecciono la unidad habitacional "Leonardo Rodríguez Alcaine" ubicada en la parte sur la Cd. de Oaxaca de Juárez, considerando que este fraccionamiento se encuentra habitado por personal que labora en la C.F.E., situación que facilita los tramites de autorización para la instalación del sistema prototipo, realizando las diferentes pruebas de campo y obtención de resultados.

Las actividades que contempla la puesta en servicio del sistema son las siguientes:

- **Características de la infraestructura eléctrica de baja tensión.**
- **Instalación y puesta en servicio del concentrador de datos.**
- **Instalación y puesta en servicio de los medidores.**

A continuación se realiza una descripción de cada una de las actividades.

5.2.1 Características de la infraestructura eléctrica de baja tensión

Previo a la puesta en servicio es necesario realizar la inspección de campo, en la unidad habitacional, para conocer la infraestructura de la red de baja tensión instalada. En este caso se establece que existe un transformador reductor de 13.8 KV a 120 VCA, con capacidad de 45 KVA, con dos fases en el secundario. La red de baja tensión se compone de cableado de aluminio calibre 2 cero, soportado por cuatro postes de concreto de 9 metros, con una longitud total de 170 m aproximadamente.

La red de baja tensión proporciona el servicio de energía eléctrica a 20 viviendas que pertenecen a las manzanas 1 y 2, como se observa en la Figura 5.2. Además se considera la instalación de un medidor en cada una de las fases del transformador, con la finalidad de obtener información del consumo de energía eléctrica de cada una de las fases.

La ubicación para instalar el concentrador de datos en la red de baja tensión, se realiza considerando ubicar el poste que se encuentre aproximadamente a la mitad de la longitud total de la red, lo anterior con la finalidad de tener una distancia menor del medio de transmisión (cableado eléctrico), para este proyecto se coloca en el poste frente a la casa 1 manzana 2 (C1 M2). Ver Figura 5.2.

Por lo anterior el número total de medidores a instalar es de 22 y un concentrador de datos.

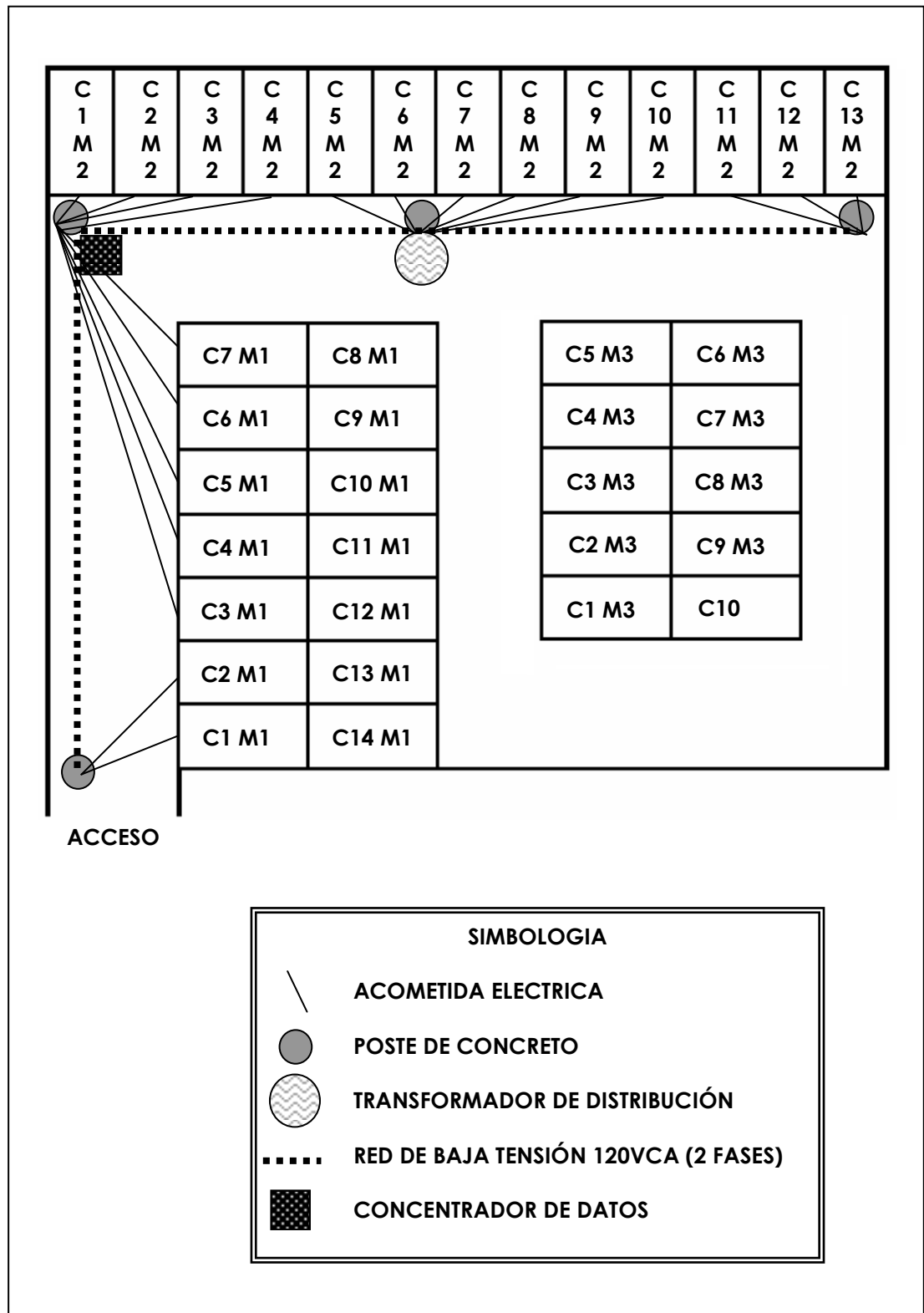


Figura 5.2 Diagrama de la unidad habitacional para la instalación de medidores y concentrador de datos

5.2.2 Instalación y puesta en servicio del concentrador de datos.

El concentrador de datos de medición se encuentra contenido en un gabinete metálico tipo intemperie, lo cual le proporciona protección contra las condiciones del medio ambiente como son: lluvia, sol, polvo, etc. Para la instalación se requiere colocar el gabinete metálico, en la parte superior del poste, con la finalidad de evitar daños o robo al equipo, además de minimizar las pérdidas del canal de comunicación al utilizar una longitud de cable menor entre la antena y equipo de radio.

Para la instalación del concentrador de datos se requiere la colaboración de personal con entrenamiento en líneas de distribución de energía eléctrica. Por lo anterior se solicitó el apoyo de una cuadrilla de trabajadores con experiencia en líneas energizadas, para realizar las siguientes actividades:

- En piso se preparan los herrajes para sujetar el gabinete metálico al poste de concreto.
- Se indica a los trabajadores la posición y altura sobre el poste donde será instalado el concentrador. Basándose en el criterio para la selección de la altura adecuada, los equipos deben estar instalados a dos metros por abajo de la red de baja tensión, con la finalidad de brindar la protección al personal que realice labores de mantenimiento y pruebas con el concentrador de datos.
- Los trabajadores ascienden al poste, mediante la grúa hidráulica, se colocan a la altura correcta donde será instalado el gabinete, fijando en forma segura los herrajes de los equipos al poste.
- Los trabajadores conectan el cableado del concentrador a la red de baja tensión, verificando la correspondencia de fases (1, 2) y el neutro.

Las siguientes actividades se realizan por el personal a cargo del proyecto, ya que requieren conocimientos específicos del diseño e implementación del mismo.

- Mediante la grúa hidráulica se asciende a la altura donde se encuentra instalado el concentrador. Se realiza una inspección visual para determinar que no exista algún problema que pueda ocasionar mal funcionamiento o daño al equipo.
- Se coloca el cable de radiofrecuencia de la antena al conector del radio localizado en la parte interna del gabinete metálico. Se Atornilla firmemente los conectores y se aplica cinta aislante para evitar filtraciones o humedad sobre los conectores de antena y radio.

- Verificar que la fuente de alimentación, módem y radio se encuentren en la posición de encendido (ON).

De esta forma el concentrador de datos de medición se encuentra debidamente instalado y en espera de realizar las pruebas al concluir con la instalación de los medidores. La Figura 5.3 muestra el concentrador de datos instalado en poste.



Figura 5.3 Instalación de concentrador en poste

5.2.3 Instalación y puesta en servicio de los medidores.

Los medidores a los cuales se realizó la instalación de la tarjeta electrónica, tienen las mismas características físicas externas que un medidor electromecánico convencional, al no existir diferencias, no es necesario realizar ningún tipo de adecuación a la base (socket) para su instalación, solo se toma en consideración los siguientes pasos:

- Se Informa al propietario de la vivienda que el medidor del domicilio será retirado para ser sustituido por un equipo nuevo, lo cual implica que el servicio de energía eléctrica sea suspendido por espacio de 5 minutos aproximadamente.

- Se obtiene la lectura del medidor que se encuentra instalado para ser reportado a la oficina del área comercial de C.F.E., aplicando el procedimiento de toma de lectura (Capítulo 2, sección 2.7).
- Se coloca en posición de apagado el interruptor general de la casa habitación.
- Se procede a cortar el sello y retirar el arillo de seguridad del medidor.
- Se coloca frente al medidor, sujetándolo con ambas manos y se jala varias veces hasta que el medidor se desprenda de la base.
- Se Instalar el nuevo medidor, sujetándolo con ambas manos, se coloca cuidadosamente en la base, haciendo coincidir las terminales del medidor con las entradas de la base (socket), empujar hasta que el medidor quede fijo en la base.
- Se coloca en posición de encendido el interruptor general del usuario y se verifica que el suministro de energía eléctrica se encuentre totalmente normal.
- Se verifica el funcionamiento del medidor, a través de la estación central, mediante la ejecución del comando *leer medidor individual*. El comando deberá ser recibido y procesado por el medidor, quien enviará la información requerida al concentrador, vía red eléctrica, y posteriormente el concentrador enviará los datos a la estación central vía enlace de radiocomunicación. Se puede realizar la misma prueba utilizando una computadora portátil, con el software de la estación central, conectándose al puerto serial del concentrador y ejecutando los comandos correspondientes, agilizando los trabajos de prueba y mantenimiento al realizarse en forma local.

Se coloca el arillo para evitar que se desprenda el medidor de la base y se procede a colocar un nuevo sello de seguridad.

- Repetir los pasos anteriores, hasta concluir con la instalación de los 22 medidores.

La Figura 5.4, muestra los medidores instalados en las viviendas de la zona habitacional, trabajos realizados durante la puesta en servicio del Sistema de Medición Remota de Energía Eléctrica.



Figura 5.4 Medidores instalados en viviendas de la Unidad Habitacional.

6

Resultados obtenidos

Con la finalidad de verificar el funcionamiento del Sistema de Medición Remota de energía eléctrica, se estableció un periodo de pruebas para analizar el funcionamiento general del mismo. Mediante el análisis de la información obtenida se pueden detectar posibles fallas y a partir de éstas establecer las estrategias de mejora.

El periodo de pruebas queda comprendido del 1º de Octubre al 29 de Diciembre del 2003, realizando diversas pruebas de campo, a través de visitas a la Unidad Habitacional donde se encuentran instalados los medidores, y por otra parte desde la estación central. Por lo anterior se pueden establecer dos diferentes tipos de pruebas y resultados.

- ***Pruebas y resultados de campo***
- ***Pruebas y resultados obtenidos en la estación central***

6.1 PRUEBAS Y RESULTADOS DE CAMPO.

Las pruebas se realizaron en la Unidad Habitacional de C.F.E. "Leonardo Rodríguez Alcaine", lugar donde físicamente se encuentran instalados los medidores y concentrador de datos.

En primer término se requiere hacer una división de los puntos clave del sistema, para proceder con la ejecución de las pruebas y obtención de resultados, los cuales se dividen en:

- Funcionamiento del sensor óptico del medidor
- Funcionamiento del canal de comunicación vía red eléctrica.
- Funcionamiento del canal de radiocomunicación

6.1.1 funcionamiento del sensor óptico.

En este caso la prueba consiste en verificar el funcionamiento de este dispositivo electrónico, el cual contabiliza las revoluciones del disco del medidor, con la finalidad de asegurar que no sea afectado por algún tipo de señal eléctrica, óptica, luminosa o magnética proveniente del interior ó exterior del medidor.

Durante el periodo de prueba los datos obtenidos interrogando al medidor y a través de la carátula del medidor coincidieron, lo que indica que no presentó ninguna alteración al estar expuestos al medio ambiente, mostrando así que las condiciones ambientales no tienen efectos directos sobre la funcionalidad del dispositivo electrónico.

Únicamente se presentó un caso en el cual el sensor óptico tuvo problemas debido a que el tornillo que sujeta a este dispositivo a la estructura metálica del medidor, no se fijo adecuadamente, y esto ocasiono movimientos durante el traslado e instalación, provocando que la distancia con respecto al disco variara, y así no contabilizara todas las revoluciones.

Esta situación se detecto a tiempo, realizando las correcciones de inmediato a fin de continuar con las pruebas en forma normal. Con la finalidad de evitar esta falla, se recomienda aplicar pegamento de contacto entre el sensor y la base, además de atornillar.

6.1.2 Pruebas y resultados del funcionamiento del canal de comunicación vía red eléctrica.

Se analizó el funcionamiento del enlace de datos a través de la línea de energía eléctrica, medio por el cual se realiza el enlace de medidores y concentrador de datos. Durante la fase de pruebas se observaron en algunos casos la pérdida de datos entre los medidores y el concentrador, factores que afectan directamente el enlace de comunicaciones.

Con la ayuda de un osciloscopio se realizó una inspección de las señales presentes en la línea de energía, utilizada como medio de comunicación, con la finalidad de determinar las posibles causas de fallas y establecer a partir de estas, propuestas de solución.

Entre las señales que se presentaron, se mencionan las siguientes:

- Señales de frecuencias variadas, se presentan de manera esporádica y se generan al inicio o durante el funcionamiento de motores eléctricos (taladros, bombas de agua), calentadores eléctricos, etc., ver Figura 6.1.
- Señal de frecuencia continúa. La Figura 6.2 muestra la forma de onda generada por la fuente de alimentación conmutada de una computadora portátil, que se encuentra conectada cerca de un medidor.

Estos dos tipos de fuente de ruido provoca pérdida de paquetes debido a que el demodulador de la etapa de recepción del medidor y concentrador de datos, no puede realizar la detección de la frecuencia a la cual está ajustado. Lo anterior provoca que sea necesario realizar una mayor cantidad de intentos de envío de comandos para obtener la información de los medidores.

Dentro de las mejoras propuestas y que fueron ampliamente probadas, destaca la incorporación de capacitores styroflex en la etapa de acoplamiento a la línea de energía eléctrica [sección 4.1.3] y la incorporación del potenciómetro de precisión R1, en la etapa de recepción [sección 4.1.5], sustituyendo el potenciómetro de tipo común, originalmente instalado.

El primero tiene la función de realizar un filtrado más selectivo de las señales de transmisión y recepción en la etapa de acoplamiento a la línea de energía eléctrica. Mientras que el segundo tiene como propósito realizar el ajuste fino de la frecuencia central f_0 (135 kHz) del circuito detector de tono LM567, a fin de evitar que frecuencias próximas a la seleccionada alteren las tramas de datos.

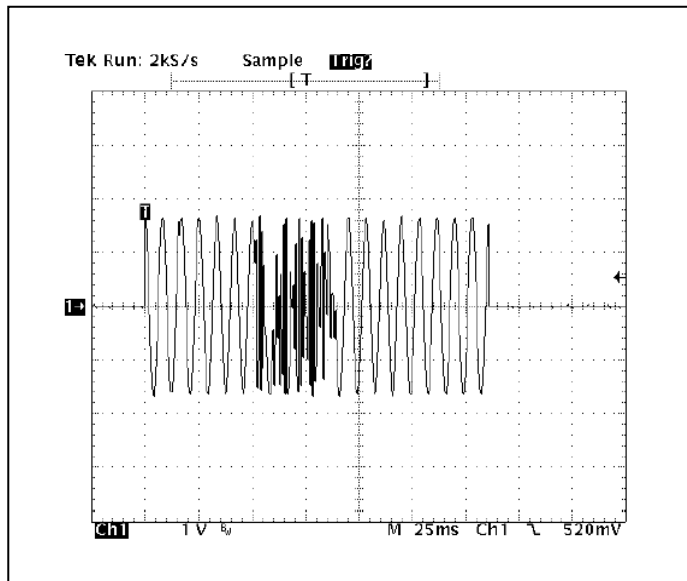


Figura 6.1 Ruido tipo impulsivo detectado en la etapa de recepción

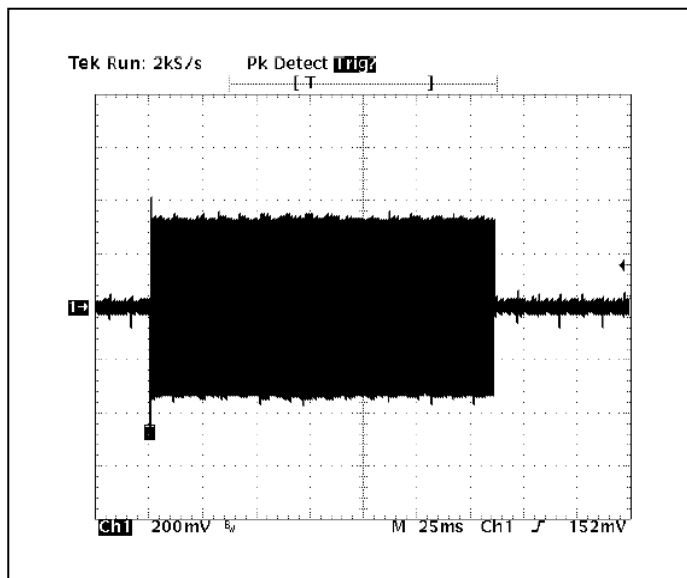


Figura 6.2 Ruido de señal continua detectado en la etapa de recepción

Partiendo del hecho de que la línea de energía eléctrica no es un medio de comunicación diseñado exclusivamente para la transferencia de datos, las correcciones propuestas no pretenden eliminar las diversas señales de ruido que se presentan en la red de baja tensión (lo cual resulta imposible), sino que llevan un sentido de minimizar los efectos sobre el medio de comunicación.

6.1.3 Pruebas y resultados del funcionamiento del canal de radiocomunicación.

El canal de radiocomunicación fue implementado mediante un enlace de radio con un equipo tipo móvil en la banda de VHF, marca Motorola modelo radius M130®, utilizando frecuencias de transmisión y recepción en el rango de 153 a 155 MHz, antena tipo omnidireccional de $\frac{1}{4}$ de onda con base magnética para montaje en gabinete metálico, y con una potencia de transmisión de 40 Watts.

Desde la puesta en servicio, el enlace de radiocomunicación, mostró un buen desempeño al realizar la transferencia de información, sin presentar ningún problema en el concentrador de datos y la estación central. Por lo cual se considera como medio de comunicación aceptable para esta aplicación.

Con la finalidad de disponer de un enlace de comunicación adicional, se realizó una prueba con los equipos radio-módem marca Microwave® en la banda de operación UHF, utilizando la frecuencia de 900 MHz, con una antena direccional tipo yagi de 7 elementos a 9 dB, la potencia de transmisión del equipo se estableció en 5 watts. Las pruebas aportaron resultados satisfactorios, al realizar la transferencia de datos sin ningún problema. Ver Figura 6.3.

Este último esquema de comunicación únicamente será utilizado en caso de presentar alguna interferencia o daño del equipo que esta en operación actualmente, considerando este esquema como una mejora adicional al sistema.

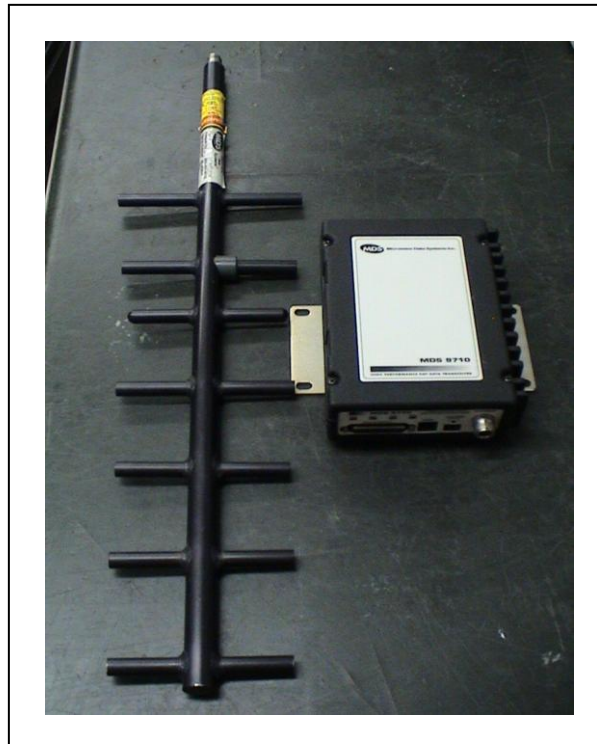


Figura 6.3 Radio-módem y antena banda UHF 900 MHz.

6.2 PRUEBAS Y RESULTADOS OBTENIDOS EN LA ESTACIÓN CENTRAL.

Con la finalidad de verificar la precisión de los valores del consumo de energía eléctrica del sistema de medición en áreas foráneas, registrado a través de los medidores instalados, se realizaron las mediciones en forma simultánea. Utilizando el sistema de medición a distancia y la participación de un trabajador o lectorista, se logro realizar la sincronización para efectuar al mismo tiempo el procedimiento de tomas de lecturas, contando con una buena coordinación y comunicación, a través de un radio de comunicación de voz, entre el personal ubicado en la estación central y la unidad habitacional. En la Tabla 6.1 se muestran los valores en kilowatthoras obtenidos.

La prueba básicamente consistió por una parte en ejecutar el comando *leer medidor*, desde la estación central, a cada uno de los medidores instalados en la unidad habitacional, al mismo tiempo un lectorista disponía de 30 segundos para obtener la lectura del medidor correspondiente. Esta prueba se realizo sin presentar contratiempos, ya que la colocación de los medidores en la parte frontal de las viviendas, permitió al lectorista obtener las lecturas dentro del tiempo estimado.

Tabla 6.1 Valores de lecturas obtenidas con el sistema de medición y por un lectorista.

Numero de medidor	Valores de lecturas obtenidas con el Sistema de Medición (kilowatthoras)				Valores de lecturas obtenidas por lectorista (kilowatthoras)			
	10/OCT/03	31/OCT/03	28/NOV/03	30/DIC/03	10/OCT/03	31/OCT/03	28/NOV/03	30/DIC/03
1	7.08	901.45	1589.27	2260.44	7	902	1590	2261
2	6.87	811.66	1664.83	2359.36	7	812	1665	2358
3	1.30	20.13	41.81	60.21	1	20	42	60
4	0.98	113.63	253.92	362.55	0	113	254	362
5	0.64	190.81	213.72	305.71	0	191	213	305
6	1.36	223.89	479.92	685.02	1	224	480	685
7	1.12	72.14	148.45	211.38	1	72	148	211
8	0.10	47.32	110.50	158.19	0	47	110	158
9	1.27	58.90	93.11	133.64	1	59	93	133
10	0.17	68.52	133.92	191.80	0	68	134	192
11	0.43	93.44	104.14	149.72	0	93	104	149
12	0.41	125.04	222.56	317.32	0	125	222	317
13	1.25	100.81	197.25	281.58	1	101	197	281
14	0.64	141.21	316.17	451.75	0	141	316	451
15	0.46	64.61	179.34	255.93	0	64	179	255
16	0.20	95.03	150.57	214.27	0	95	150	214
17	1.74	165.95	371.78	530.18	1	166	371	530
18	0.39	55.19	112.37	160.77	0	55	112	161
19	0.74	154.38	258.58	369.83	0	154	258	370
20	0.54	44.49	102.15	145.10	0	44	102	145
21	0.62	27.75	59.94	85.03	0	28	60	85
22	0.89	77.50	123.29	175.62	0	77	123	175

Las actividades se realizaron durante los días 10 y 31 de Octubre, 28 de Noviembre y 30 de Diciembre del año 2003, tomando en consideración las fechas de cierre del proceso de facturación del sistema comercial.

Los datos recabados muestran que los valores obtenidos a través de los métodos de medición son similares, apegándose a los valores que están registrados en las carátulas de los medidores. Lo anterior permite comprobar que el sistema de medición de energía eléctrica proporciona información confiable para ser ingresada al sistema comercial, con la finalidad de realizar el procesamiento de la misma y generar los recibos de facturación correspondiente.

6.2.1 Balance de energía en un transformador de energía eléctrica.

El balance de energía en un transformador de distribución, tiene una importancia relevante, ya que puede prevenir daños al transformador si es detectada alguna anomalía a tiempo.

Consiste en analizar la demanda de energía eléctrica, del total de los servicios de los usuarios que estén conectados a cada una de las fases del transformador.

En la Tabla 6.1 se muestra que los medidores marcados con los números del 3 al 12, se encuentran instalados en la fase "A" del transformador, y el medidor con número de identificación 1 registra el consumo total de esta fase. De la misma forma los medidores marcados con los números de identificación del 13 al 22, están conectados a la fase "B" y el medidor 2 registra el consumo total de la fase "B". En ambos casos los valores registrados muestran una ligera diferencia entre fases, lo cual no representa una condición de riesgo de daño al transformador, ya que de acuerdo a la especificación de los fabricantes de transformadores eléctricos, no debe existir una diferencia mayor del 20 % entre fases. En otro caso, es posible realizar el balance, mediante la reubicación de algunos servicios a la fase que menos demanda presente.

6.2.2 Análisis de demanda diaria en un transformador de distribución.

El software de la estación central, puede ser configurado para ejecutar el comando *leer medidor*, en forma periódica, a los medidores 1 y 2, que registran el consumo total de cada fase, permitiendo obtener una serie de datos para realizar el análisis del comportamiento de la demanda por fase de un transformador de distribución.

Este análisis de la demanda permite evitar daños a una o mas fases del transformador, mediante la detección oportuna de los valores máximos registrados en la red de baja tensión, en este caso el valor máximo registrado es de 14.7 kilowatthoras, que se encuentra muy por debajo de la capacidad nominal del transformador de 45 kVA.

La Figura 6.4 muestra el comportamiento de la demanda de la fase “B”, durante un muestreo de los valores de la energía eléctrica consumida durante un periodo de prueba de veinticuatro horas.

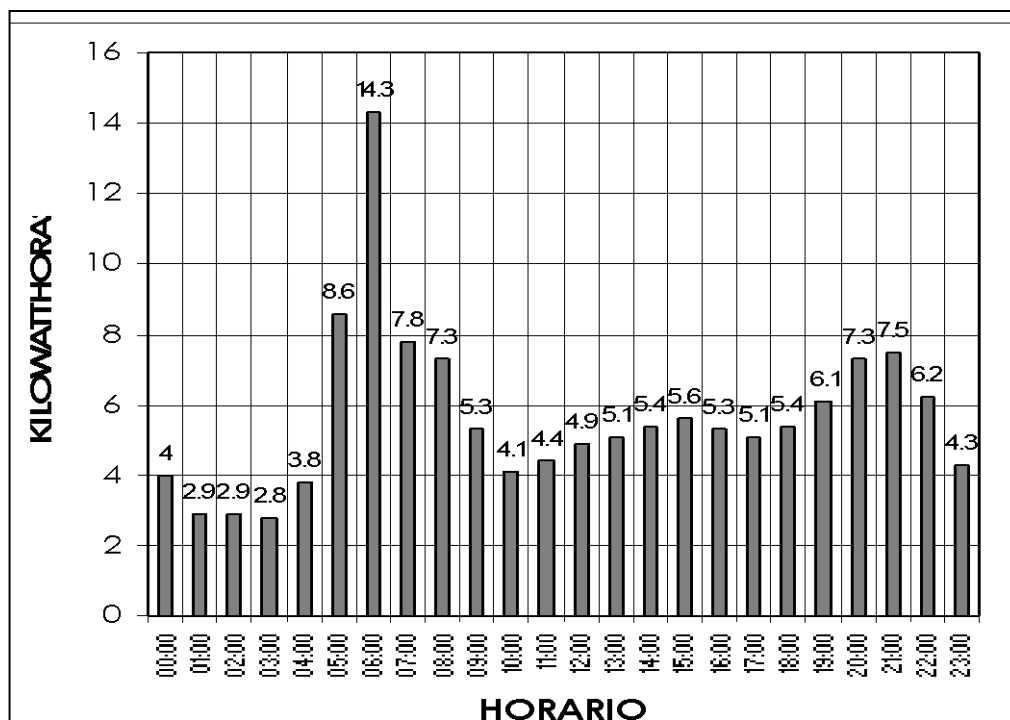


Figura 6.4 Grafica de la demanda de energía eléctrica en una fase del transformador.

Como se observa, existe un consumo máximo alrededor de las 06:00 horas, también se observa otro de menor tamaño alrededor de las 21:00 horas.

7

Conclusiones y perspectivas

El Sistema de Medición Remota de Energía Eléctrica desarrollado en el Departamento de Comunicaciones y Control División Sureste de C.F.E., durante un periodo de dieciocho meses en el cual debido a la relevancia del proyecto, fue necesario dividirlo en dos áreas, de esta forma el Ing. Héctor Daniel Alfaro Pérez realizó las funciones de coordinación del proyecto y elaboración del software de la estación central, concentrador de medición y medidor. Mientras que el autor de la tesis realizó la construcción, pruebas e instalación del hardware, razón por la cual en el trabajo aquí expuesto se hace una mayor referencia a esta última parte del sistema.

La experiencia personal adquirida durante el desarrollo de este trabajo es integral, por una parte los conocimientos adquiridos durante los cursos impartidos en la Universidad se complementan con los conocimientos prácticos y la experiencia que aporta el equipamiento eléctrico y electrónico instalado por la C.F.E., consolidándose en el desarrollo del proyecto tema de este trabajo.

Una vez finalizado esta etapa del proyecto, se hace necesario realizar un análisis de las fortalezas, posibles mejoras y carencias de este trabajo. En ningún sentido se afirma que todo está hecho y que no hay posibilidad para aplicar mejoras, que lleven a otras etapas de mayor funcionalidad al proyecto, es precisamente esto lo que permite también establecer las perspectivas a futuro.

En base a la experiencia adquirida y resultados aportados, se establece que este sistema es una alternativa funcional para realizar la adquisición de lecturas del consumo eléctrica a distancia, mejorando en forma sustancial el procedimiento de toma de lecturas que actualmente se realiza; proporcionando las herramientas de información, requeridas por las nuevas formas de trabajo del mundo actual, que implica estar dentro de un proceso de mejora continua.

Por lo anterior se pueden establecer las conclusiones y perspectivas derivadas del desarrollo del tema expuesto en este trabajo de tesis.

7.1 CONCLUSIONES

Los objetivos planteados al inicio de este trabajo, se cumplen satisfactoriamente en los siguientes términos:

- El diseño e implementación de una tarjeta electrónica incorporada a un medidor electromecánico para convertir los giros del disco en valores digitales, permite a éste disponer de un medio adicional para obtener información en forma confiable, sin afectar las funciones bajo las cuales fue diseñado originalmente el waththorímetro.
- El Hardware para un concentrador de datos, cumple ampliamente con las funciones para reunir la información de los medidores instalados en una red de baja tensión, mediante enlaces efectuados a través de la misma línea de energía eléctrica y la transmisión a la estación central de la información recabada, utilizando un medio de comunicación radioeléctrico. Proporcionando información ágil y confiable, en todo momento, para la toma de decisiones, reduciendo los recursos humanos y materiales requeridos en otros casos para obtener esta información.
- La transferencia de información digital vía red eléctrica entre el medidor y un concentrador de datos, se realiza en forma aceptable, aun considerando que el cableado de energía eléctrica no es un medio dedicado para la transferencia de información.

Como carencia o desventaja principal del medio de comunicación utilizado, se menciona básicamente las interferencias producidas por señales con ruido, generadas por diversos equipos conectados a la red de energía eléctrica, las cuales tienen efectos mínimos en el desempeño del canal de

comunicación de datos, y con la incorporación de circuitos integrados PLC (módems) puede disminuir significativamente estas interferencias.

7.2 NUEVAS APLICACIONES CON LA INFORMACIÓN OBTENIDA.

Disponer de información confiable y de manera oportuna proporciona una ventaja considerable para realizar la explotación de la misma. En este sentido el Sistema de Medición de Energía Eléctrica, proporciona una herramienta adicional para el análisis de la información y toma de decisiones, al proporcionar en cualquier momento los valores del consumo de energía eléctrica de los medidores.

De esta forma se hace mención de la siguiente aplicación que se puede realizar:

- **Detección de servicios de energía eléctrica ilícitos.**

7.2.1 Detección de servicios de energía eléctrica ilícitos.

La detección de ilícitos en los servicios de energía eléctrica, se puede determinar con base en el análisis de la información de los medidores. El procedimiento consiste en realizar la suma de todos los valores de los medidores de una fase en particular, el valor obtenido es comparado con la información que proporcione el medidor que registra el total de energía consumida en esa fase, menos el 10 %, que equivale a las pérdidas técnicas en la línea de baja tensión. Los valores obtenidos deberán cumplir con la siguiente expresión matemática.

$$\text{valor medidor de fase} - 10\% \text{ valor medidor de fase} \leq \sum \text{valor de medidores instalados por fase} \quad (17)$$

De acuerdo a los valores de la tabla 6.1 [sección 6.2.1], para la fase A, se obtiene el siguiente resultado:

$$\text{valor medidor 1} - 10\% \text{ valor medidor 1} \leq \sum_3^{12} \text{valor de medidores instalados}$$

$$2730.07 - 273.007 \leq 2575.54$$

$$2457.06 \leq 2575.54$$

Lo que significa que las pérdidas técnicas de la fase "A" son menores al 10 %.

7.3 PERSPECTIVAS

La aplicación de este sistema en la etapa prototipo abre la puerta a la búsqueda y la implementación de mejoras en las diversas secciones que lo integran. Así mismo en base a los resultados producto de su aplicación, se dispondrá de los elementos para definir la viabilidad en su aplicación en forma generalizada, por esta razón la C.F.E. continúa apoyando el desarrollo del sistema, definiendo nuevos lugares para su instalación.

Dentro de las perspectivas a futuro se menciona las siguientes:

- Incorporar circuitos integrados o módulos electrónicos completos PLC (modems), para el diseño de nuevas tarjetas electrónicas de medidores y concentradores de datos, que permita obtener canales de comunicación por línea de energía eléctrica con mejor estabilidad, mayor velocidad y a bajo costo.
- Incorporar nuevas funciones o comandos que permitan incrementar la funcionalidad de los medidores y concentradores, por ejemplo el corte y restablecimiento de energía eléctrica de viviendas.

Finalmente los conocimientos aquí expuestos van a permitir a los estudiantes o personas interesadas en el tema, utilizarlos como base de desarrollo o complemento de otros proyectos, mediante la utilización de la teoría y resultados obtenidos durante la aplicación del Sistema de Medición Remota de Energía Eléctrica.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] C.F.E., Centro de Capacitación Celaya, "Sistemas de Control Supervisorio", Centro de Capacitación Celaya, Celaya, Gto. (México),
- [21] C.F.E., Centro de capacitación Celaya. "Sistemas VHF-FM", Centro de Capacitación Celaya, Celaya, Gto. (México), 1993.
- [3] Desarrollo Tecnológico en Electrónica S.A. de C.V. "Manual de instalación, operación y mantenimiento de UTR DTE-851 DL", Rev. 3.1, Chihuahua, Chih. (México), 1999.
- [4] Industrias Unidas S.A de C.V. IUSA. "Wattorímetros Electromecánicos Monofásicos y Polifásicos"; Pastejé, Edo. de México, (México), 2002.
- [5] Secretaria de Energía, "Manual de disposiciones relativas al suministro y venta de energía eléctrica destinado al Servicio Público", Diario Oficial de la Federación 23 de Enero del 2003, México, D.F. (México) 2003
- [6] Sensa Control Digital S.A. de C.V., "Manual de operación y servicio interfase de comunicación IC 01443A", Sensa Control Digital S.A. de C.V. , Torreón, Coah. (México), 1997.
- [7] Sistemas y Servicios de Comunicación S.A. de C.V., "Catalogo general de radiocomunicación", Chihuahua, Chih. (México), 2002.
- [8] STMicroelectronics, "Application Note ST7536", STMicroelectronics, U.S.A. 1998.
- [9] Zapata, J., Vidrio G., Gómez J., "Medición de la energía eléctrica bajo esquemas de libre mercado", Boletín del Instituto de Investigaciones Eléctricas, Cuernavaca, Mor. (México), enero-febrero, 2001.
- [10] <http://www.cfe.gob.mx/www2/servicios/notacasahab.asp>
- [11] Interfacing the PC-Homepage <http://www.senet.com.au/~cpeacock>

18-pin *Enhanced* FLASH/EEPROM 8-Bit Microcontroller

High Performance RISC CPU Features:

- Only 35 single word instructions to learn
- All instructions single-cycle except for program branches which are two-cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
DC - 200 ns instruction cycle
- 1024 words of program memory
- 68 bytes of Data RAM
- 64 bytes of Data EEPROM
- 14-bit wide instruction words
- 8-bit wide data bytes
- 15 Special Function Hardware registers
- Eight-level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Four interrupt sources:
 - External RB0/INT pin
 - TMR0 timer overflow
 - PORTB<7:4> interrupt-on-change
 - Data EEPROM write complete

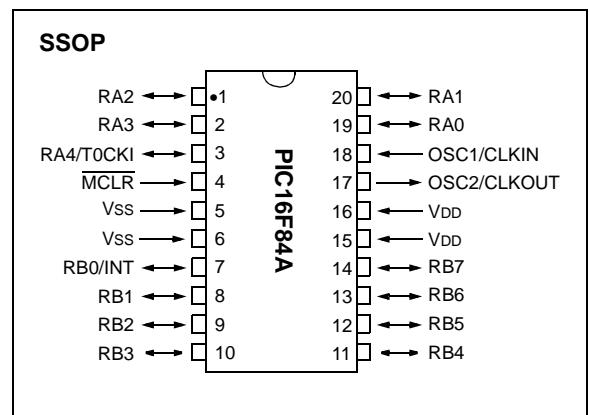
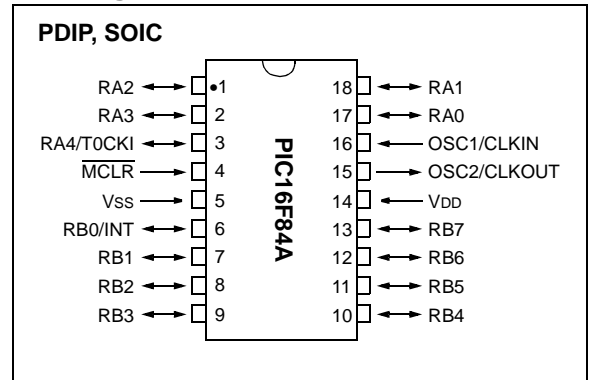
Peripheral Features:

- 13 I/O pins with individual direction control
- High current sink/source for direct LED drive
 - 25 mA sink max. per pin
 - 25 mA source max. per pin
- TMR0: 8-bit timer/counter with 8-bit programmable prescaler

Special Microcontroller Features:

- 10,000 erase/write cycles *Enhanced* FLASH
Program memory typical
- 10,000,000 typical erase/write cycles EEPROM
Data memory typical
- EEPROM Data Retention > 40 years
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) - via two pins
- Power-on Reset (POR), Power-up Timer (PWRT), Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own On-Chip RC Oscillator for reliable operation
- Code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options

Pin Diagrams



CMOS Enhanced FLASH/EEPROM Technology:

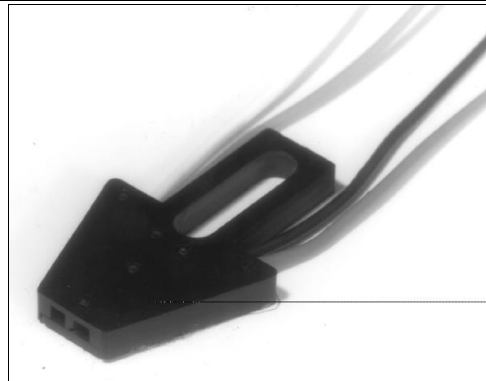
- Low power, high speed technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range:
 - Commercial: 2.0V to 5.5V
 - Industrial: 2.0V to 5.5V
- Low power consumption:
 - < 2 mA typical @ 5V, 4 MHz
 - 15 µA typical @ 2V, 32 kHz
 - < 0.5 µA typical standby current @ 2V

HOA1406

Reflective Sensor

FEATURES

- Choice of phototransistor or photodarlington output
- Low profile package
- Hermetic style emitter and detector
- Focused for maximum response
- 24.0 in.(610 mm) min. 26 AWG Teflon insulated lead wires



INFRA-84.TIF

DESCRIPTION

The HOA1406 series consists of an infrared emitting diode facing an NPN silicon phototransistor (HOA1406-001) or photodarlington (HOA1406-003) encased side-by-side on converging optical axes, in a black thermoplastic housing. The detector responds to radiation from the IRED only when a reflective object passes within its field of view. This low profile sensor is ideally suited for applications where space is limited, or stacking of sensors is required. The HOA1406 series employs hermetically sealed metal can packaged components. For additional component information see SE2460, SD2440, SD2410.

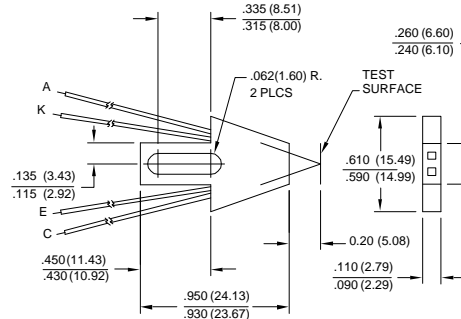
Housing material is polycarbonate. Housings are soluble in chlorinated hydrocarbons and ketones. Recommended cleaning agents are methanol and isopropanol.

Wire color code and functions are:

- IRED anode - red
- IRED cathode - black
- Collector - white
- Emitter - green

OUTLINE DIMENSIONS in inches (mm)

Tolerance 3 plc decimals $\pm 0.010(0.25)$
2 plc decimals $\pm 0.020(0.51)$



DIM_072.d54

HOA1406

Reflective Sensor

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (25°C unless otherwise noted)

PARAMETER	SYMBOL	MIN	TYP	MAX	UNITS	TEST CONDITIONS
IR EMITTER						
Forward Voltage	V_F			1.6	V	$I_F=20\text{ mA}$
Reverse Leakage Current	I_R			10	μA	$V_R=3\text{ V}$
DETECTOR						
Collector-Emitter Breakdown Voltage	$V_{(BR)CEO}$				V	$I_C=100\ \mu\text{A}$
HOA1406-001		30				
HOA1406-003		15				
Emitter-Collector Breakdown Voltage	$V_{(BR)ECO}$	5.0			V	$I_E=100\ \mu\text{A}$
Collector Dark Current	I_{CEO}				nA	$V_{CE}=10\text{ V}, I_F=0$
HOA 1406-001				100		
HOA1406-003				250		
COUPLED CHARACTERISTICS						
On-State Collector Current	$I_{C(ON)}$				μA	$V_{CE}=5\text{ V}$
HOA1406-001		25			mA	$I_F=40\text{ mA}$
HOA1406-003		2.0				(1)
Crosstalk (2)	I_{CX}			2.0	μA	$V_{CE}=5\text{ V}, I_F=40\text{ mA}$
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(SAT)}$				V	$I_F=40\text{ mA}$ (1)
HOA1406-001				0.4		$I_C=10\ \mu\text{A}$
HOA1406-003				1.1		$I_C=1\text{ mA}$
Rise And Fall Time	t_r, t_f				μs	$V_{CC}=5\text{ V}, I_C=1\text{ mA}$
HOA1406-001			15			$R_L=1000\ \Omega$
HOA1406-003			75			$R_L=100\ \Omega$

Notes

1. Test surface is a Eastman Kodak neutral white card with 90% diffuse reflectance located 0,20 in. (5,0 mm) from the front surface of the device.
2. Crosstalk (I_{CX}) is the collector current measured with current emitter and no reflecting surface.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

(25°C Free-Air Temperature unless otherwise noted)

Operating Temperature Range -40°C to 100°C
Storage Temperature Range -40°C to 100°C

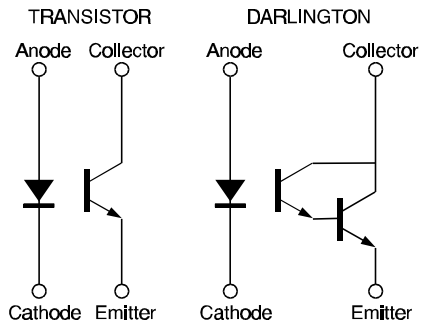
IR EMITTER

Power Dissipation 80 mW (1)
Reverse Voltage 3 V
Continuous Forward Current 50 mA

DETECTOR

	TRANS.	DARLINGTON
Collector-Emitter Voltage	30 V	15 V
Emitter-Collector Voltage	5 V	5 V
Power Dissipation	75 mW (2)	75 mW (2)
Collector DC Current	30 mA	30 mA

SCHEMATIC



Honeywell reserves the right to make changes in order to improve design and supply the best products possible.

Honeywell

HOA1406

Reflective Sensor

Fig. 1 IRED Forward Bias Characteristics

gra_073.ds4

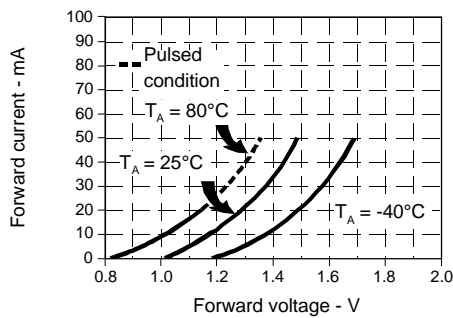


Fig. 2 Non-Saturated Switching Time vs Load Resistance

gra_079.ds4

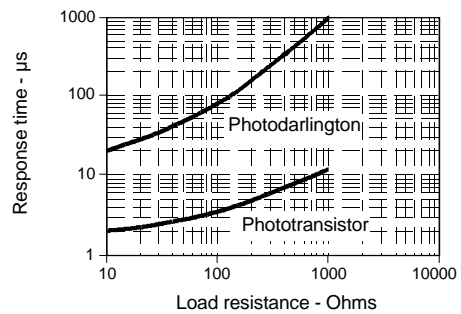


Fig. 3 Dark Current vs Temperature

gra_301.cdr

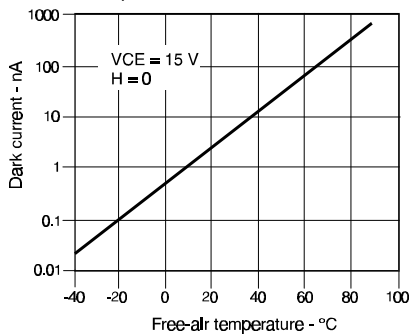


Fig. 4 Collector Current vs Ambient Temperature

gra_076.ds4

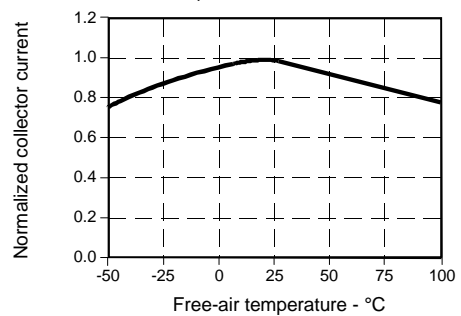


Fig. 5 Collector Current vs Distance to Reflective Surface

gra_210.ds4

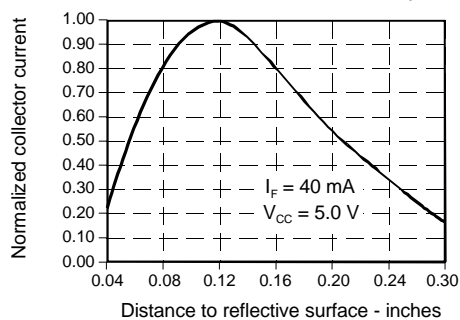
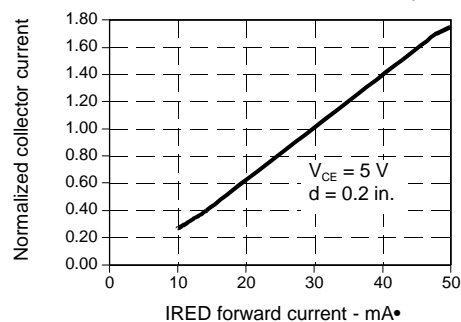


Fig. 6 Collector Current vs IRED Forward Current

gra_209.ds4



All Performance Curves Show Typical Values

LM567/LM567C Tone Decoder

General Description

The LM567 and LM567C are general purpose tone decoders designed to provide a saturated transistor switch to ground when an input signal is present within the passband. The circuit consists of an I and Q detector driven by a voltage controlled oscillator which determines the center frequency of the decoder. External components are used to independently set center frequency, bandwidth and output delay.

Features

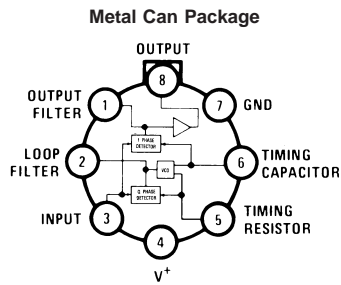
- 20 to 1 frequency range with an external resistor
- Logic compatible output with 100 mA current sinking capability
- Bandwidth adjustable from 0 to 14%

- High rejection of out of band signals and noise
- Immunity to false signals
- Highly stable center frequency
- Center frequency adjustable from 0.01 Hz to 500 kHz

Applications

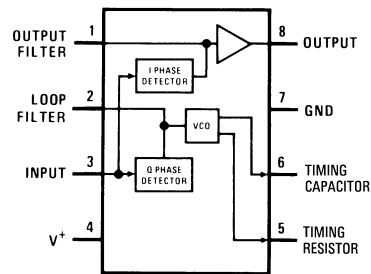
- Touch tone decoding
- Precision oscillator
- Frequency monitoring and control
- Wide band FSK demodulation
- Ultrasonic controls
- Carrier current remote controls
- Communications paging decoders

Connection Diagrams



Top View
Order Number LM567H or LM567CH
See NS Package Number H08C

Dual-In-Line and Small Outline Packages



Top View
Order Number LM567CM
See NS Package Number M08A
Order Number LM567CN
See NS Package Number N08E

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

Supply Voltage Pin	9V
Power Dissipation (Note 2)	1100 mW
V_B	15V
V_3	-10V
V_3	$V_4 + 0.5V$
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

Operating Temperature Range

LM567H	-55°C to +125°C
LM567CH, LM567CM, LM567CN	0°C to +70°C

Soldering Information

Dual-In-Line Package	
Soldering (10 sec.)	260°C
Small Outline Package	
Vapor Phase (60 sec.)	215°C
Infrared (15 sec.)	220°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

Electrical Characteristics

AC Test Circuit, $T_A = 25^\circ\text{C}$, $V^+ = 5V$

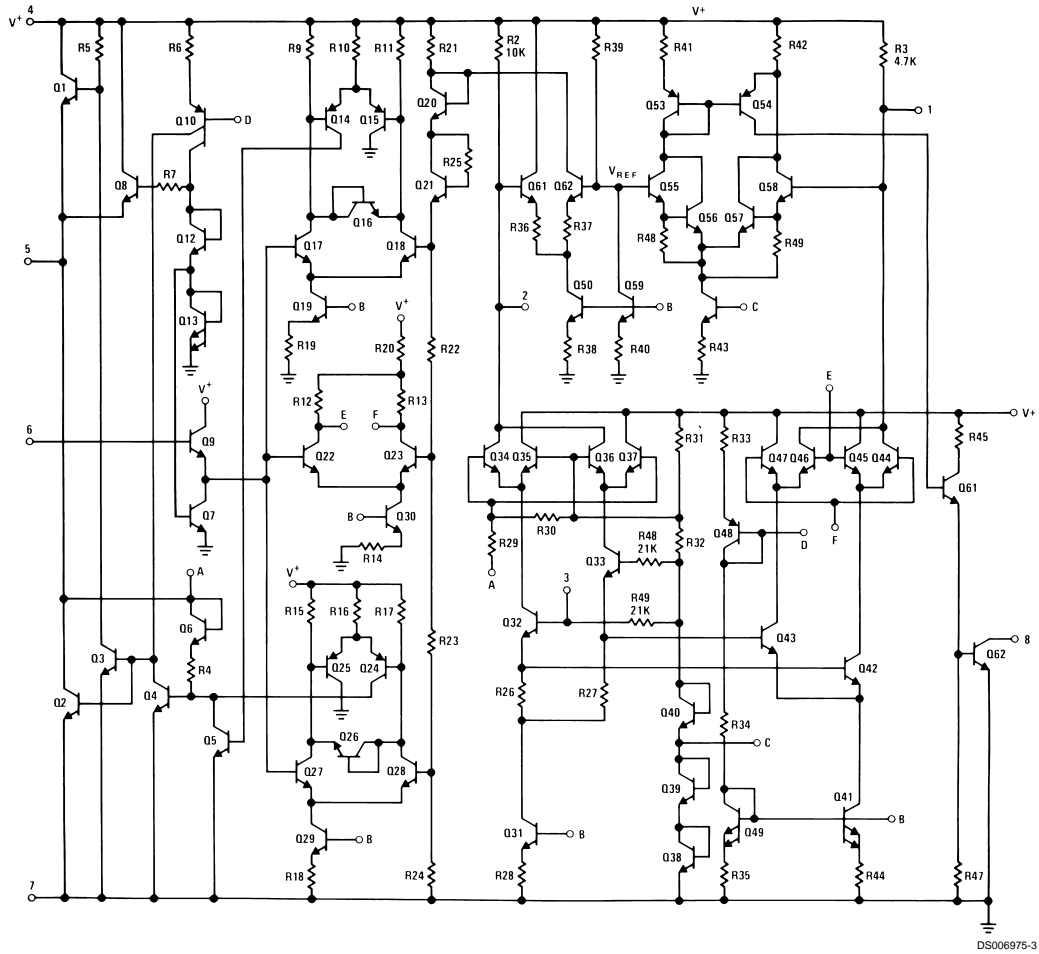
Parameters	Conditions	LM567			LM567C/LM567CM			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Power Supply Voltage Range		4.75	5.0	9.0	4.75	5.0	9.0	V
Power Supply Current Quiescent	$R_L = 20k$		6	8		7	10	mA
Power Supply Current Activated	$R_L = 20k$		11	13		12	15	mA
Input Resistance		18	20		15	20		k Ω
Smallest Detectable Input Voltage	$I_L = 100\text{ mA}$, $f_i = f_o$		20	25		20	25	mVrms
Largest No Output Input Voltage	$I_C = 100\text{ mA}$, $f_i = f_o$	10	15		10	15		mVrms
Largest Simultaneous Outband Signal to Inband Signal Ratio			6			6		dB
Minimum Input Signal to Wideband Noise Ratio	$B_n = 140\text{ kHz}$		-6			-6		dB
Largest Detection Bandwidth		12	14	16	10	14	18	% of f_o
Largest Detection Bandwidth Skew			1	2		2	3	% of f_o
Largest Detection Bandwidth Variation with Temperature			± 0.1			± 0.1		%/°C
Largest Detection Bandwidth Variation with Supply Voltage	4.75-6.75V		± 1	± 2		± 1	± 5	%V
Highest Center Frequency		100	500		100	500		kHz
Center Frequency Stability (4.75-5.75V)	$0 < T_A < 70$ $-55 < T_A < +125$		35 ± 60 35 ± 140			35 ± 60 35 ± 140		ppm/°C ppm/°C
Center Frequency Shift with Supply Voltage	4.75V-6.75V 4.75V-9V		0.5	1.0 2.0		0.4	2.0 2.0	%/V %/V
Fastest ON-OFF Cycling Rate			$f_o/20$			$f_o/20$		
Output Leakage Current	$V_B = 15V$		0.01	25		0.01	25	μA
Output Saturation Voltage	$e_i = 25\text{ mV}$, $I_B = 30\text{ mA}$ $e_i = 25\text{ mV}$, $I_B = 100\text{ mA}$		0.2 0.6	0.4 1.0		0.2 0.6	0.4 1.0	V
Output Fall Time			30			30		ns
Output Rise Time			150			150		ns

Note 1: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. Operating Ratings indicate conditions for which the device is functional, but do not guarantee specific performance limits. Electrical Characteristics state DC and AC electrical specifications under particular test conditions which guarantee specific performance limits. This assumes that the device is within the Operating Ratings. Specifications are not guaranteed for parameters where no limit is given, however, the typical value is a good indication of device performance.

Note 2: The maximum junction temperature of the LM567 and LM567C is 150°C. For operating at elevated temperatures, devices in the TO-5 package must be derated based on a thermal resistance of 150°C/W, junction to ambient or 45°C/W, junction to case. For the DIP the device must be derated based on a thermal resistance of 110°C/W, junction to ambient. For the Small Outline package, the device must be derated based on a thermal resistance of 160°C/W, junction to ambient.

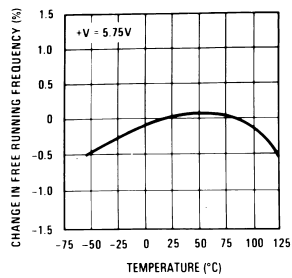
Note 3: Refer to RETS567X drawing for specifications of military LM567H version.

Schematic Diagram

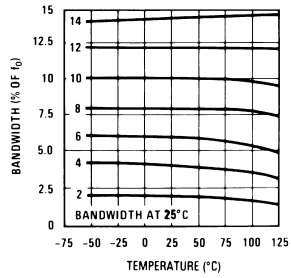


Typical Performance Characteristics

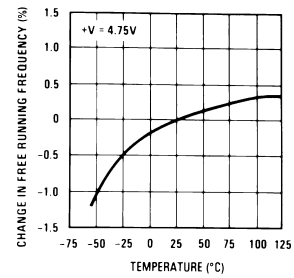
Typical Frequency Drift



Typical Bandwidth Variation

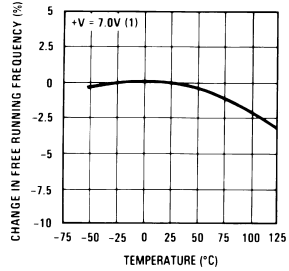


Typical Frequency Drift



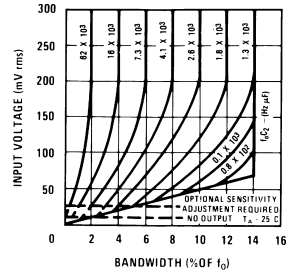
Typical Performance Characteristics (Continued)

Typical Frequency Drift



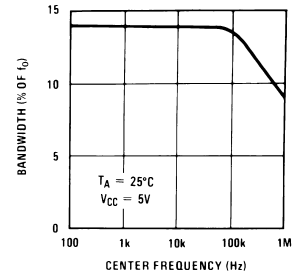
DS006975-13

Bandwidth vs Input Signal Amplitude



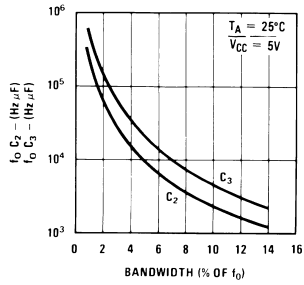
DS006975-14

Largest Detection Bandwidth



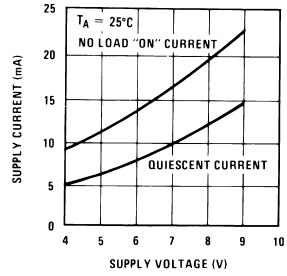
DS006975-15

Detection Bandwidth as a Function of C_2 and C_3



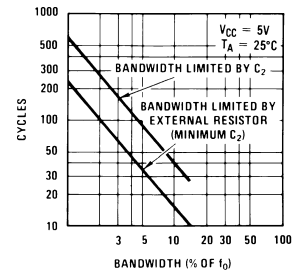
DS006975-16

Typical Supply Current vs Supply Voltage



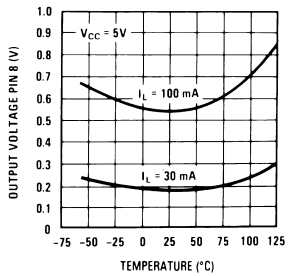
DS006975-17

Greatest Number of Cycles Before Output



DS006975-18

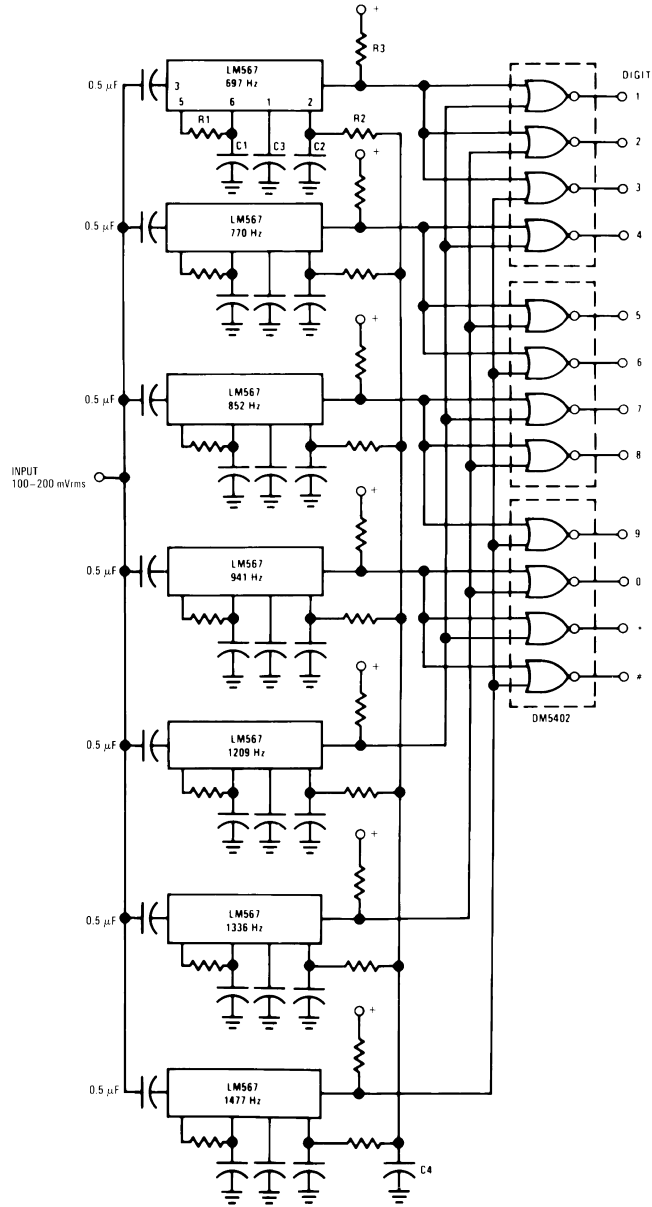
Typical Output Voltage vs Temperature



DS006975-19

Typical Applications

Touch-Tone Decoder



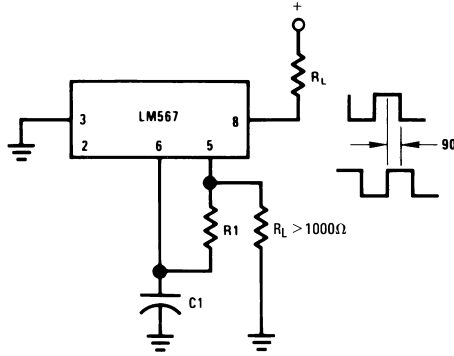
Component values (typ)

- R1 6.8 to 15k
- R2 4.7k
- R3 20k
- C1 0.10 mfd
- C2 1.0 mfd 6V
- C3 2.2 mfd 6V
- C4 250 mfd 6V

DS006975-5

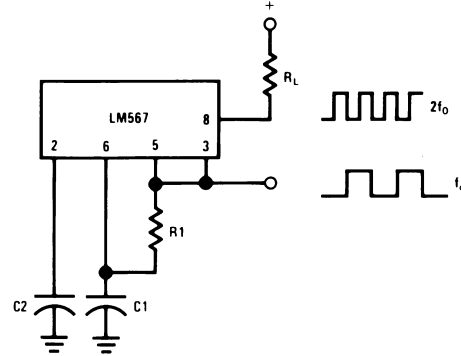
Typical Applications (Continued)

Oscillator with Quadrature Output



DS006975-6

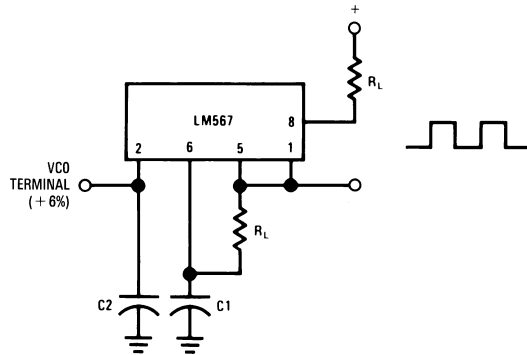
Oscillator with Double Frequency Output



DS006975-7

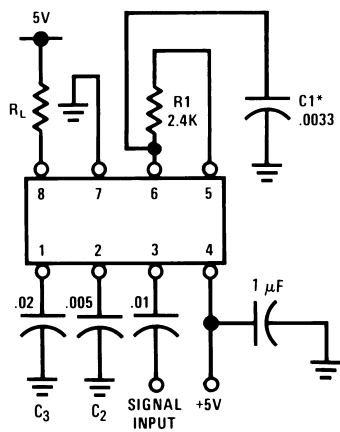
Connect Pin 3 to 2.8V to Invert Output

Precision Oscillator Drive 100 mA Loads



DS006975-8

AC Test Circuit



DS006975-9

$f_i = 100 \text{ kHz} + 5V$

*Note: Adjust for $f_o = 100 \text{ kHz}$.

Applications Information

The center frequency of the tone decoder is equal to the free running frequency of the VCO. This is given by

$$f_o \cong \frac{1}{1.1 R_1 C_1}$$

The bandwidth of the filter may be found from the approximation

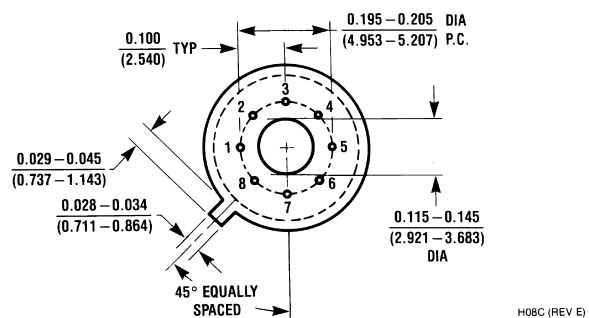
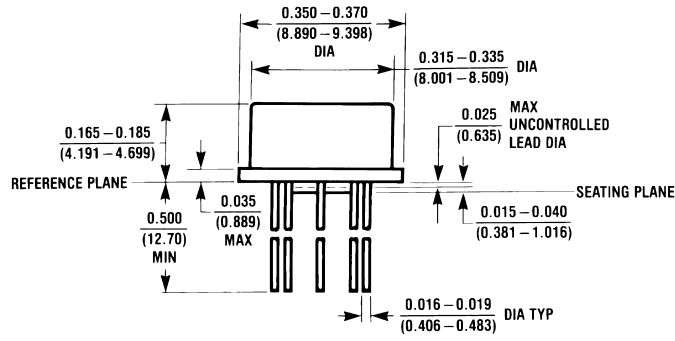
$$BW = 1070 \sqrt{\frac{V_i}{f_o C_2}} \text{ in } \% \text{ of } f_o$$

Where:

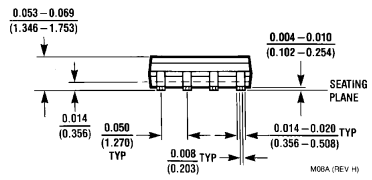
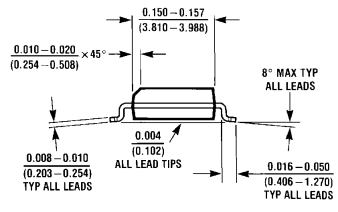
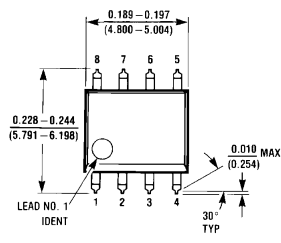
V_i = Input voltage (volts rms), $V_i \leq 200 \text{ mV}$

C_2 = Capacitance at Pin 2 (μF)

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted

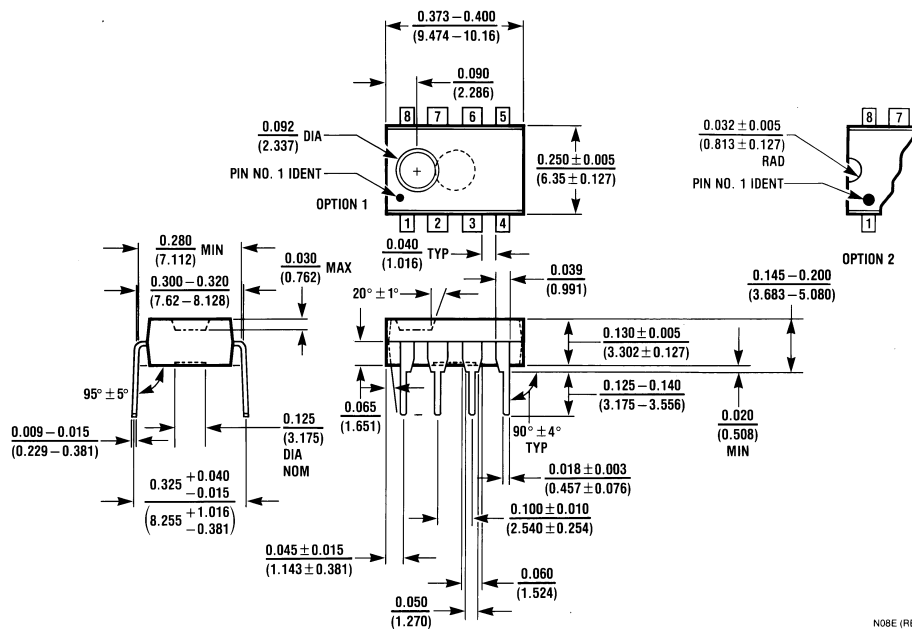


Metal Can Package (H)
Order Number LM567H or LM567CH
NS Package Number H08C



Small Outline Package (M)
Order Number LM567CM
NS Package Number M08A

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



Molded Dual-In-Line Package (N)
Order Number LM567CN
NS Package Number N08E

N08E (REV F)

LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.



National Semiconductor Corporation
 Americas
 Tel: 1-800-272-9959
 Fax: 1-800-737-7018
 Email: support@nsc.com

National Semiconductor Europe
 Fax: +49 (0) 1 80-530 85 86
 Email: europe.support@nsc.com
 Deutsch Tel: +49 (0) 1 80-530 85 85
 English Tel: +49 (0) 1 80-532 78 32
 Français Tel: +49 (0) 1 80-532 93 58
 Italiano Tel: +49 (0) 1 80-534 16 80

National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group
 Tel: 65-2544466
 Fax: 65-2504466
 Email: sea.support@nsc.com

National Semiconductor Japan Ltd.
 Tel: 81-3-5639-7560
 Fax: 81-3-5639-7507

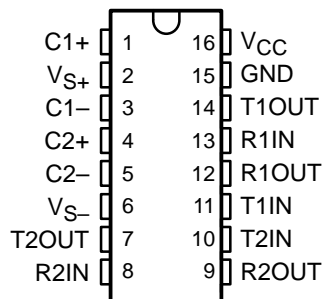
www.national.com

MAX232, MAX232I DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS

SLLS0471 – FEBRUARY 1989 – REVISED OCTOBER 2002

- Meet or Exceed TIA/EIA-232-F and ITU Recommendation V.28
- Operate With Single 5-V Power Supply
- Operate Up to 120 kbit/s
- Two Drivers and Two Receivers
- ± 30 -V Input Levels
- Low Supply Current . . . 8 mA Typical
- Designed to be Interchangeable With Maxim MAX232
- ESD Protection Exceeds JESD 22 – 2000-V Human-Body Model (A114-A)
- Applications
 - TIA/EIA-232-F
 - Battery-Powered Systems
 - Terminals
 - Modems
 - Computers

MAX232 . . . D, DW, N, OR NS PACKAGE
MAX232I . . . D, DW, OR N PACKAGE
(TOP VIEW)



description/ordering information

The MAX232 is a dual driver/receiver that includes a capacitive voltage generator to supply EIA-232 voltage levels from a single 5-V supply. Each receiver converts EIA-232 inputs to 5-V TTL/CMOS levels. These receivers have a typical threshold of 1.3 V and a typical hysteresis of 0.5 V, and can accept ± 30 -V inputs. Each driver converts TTL/CMOS input levels into EIA-232 levels. The driver, receiver, and voltage-generator functions are available as cells in the Texas Instruments LinASIC™ library.

ORDERING INFORMATION

TA	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
0°C to 70°C	PDIP (N)	Tube	MAX232N	MAX232N
	SOIC (D)	Tube	MAX232D	MAX232
		Tape and reel	MAX232DR	
	SOIC (DW)	Tube	MAX232DW	MAX232
		Tape and reel	MAX232DWR	
SOP (NS)	Tape and reel	MAX232NSR	MAX232	
-40°C to 85°C	PDIP (N)	Tube	MAX232IN	MAX232IN
	SOIC (D)	Tube	MAX232ID	MAX232I
		Tape and reel	MAX232IDR	
	SOIC (DW)	Tube	MAX232IDW	MAX232I
		Tape and reel	MAX232IDWR	

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/sc/package.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

LinASIC is a trademark of Texas Instruments.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

 **TEXAS
INSTRUMENTS**

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 2002, Texas Instruments Incorporated

MAX232, MAX232I DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS

SLLS0471 – FEBRUARY 1989 – REVISED OCTOBER 2002

Function Tables

EACH DRIVER

INPUT TIN	OUTPUT TOUT
L	H
H	L

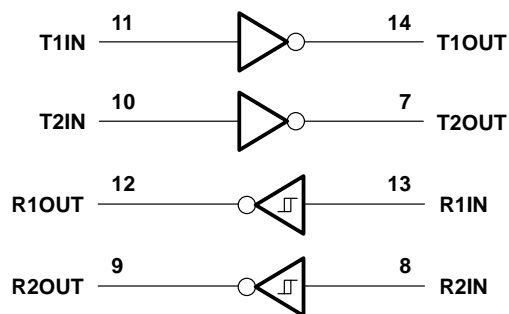
H = high level, L = low level

EACH RECEIVER

INPUT RIN	OUTPUT ROUT
L	H
H	L

H = high level, L = low level

logic diagram (positive logic)



absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

Input supply voltage range, V_{CC} (see Note 1)	–0.3 V to 6 V
Positive output supply voltage range, V_{S+}	$V_{CC} - 0.3$ V to 15 V
Negative output supply voltage range, V_{S-}	–0.3 V to –15 V
Input voltage range, V_I : Driver	–0.3 V to $V_{CC} + 0.3$ V
Receiver	±30 V
Output voltage range, V_O : T1OUT, T2OUT	$V_{S-} - 0.3$ V to $V_{S+} + 0.3$ V
R1OUT, R2OUT	–0.3 V to $V_{CC} + 0.3$ V
Short-circuit duration: T1OUT, T2OUT	Unlimited
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Note 2): D package	73°C/W
DW package	57°C/W
N package	67°C/W
NS package	64°C/W
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	260°C
Storage temperature range, T_{stg}	–65°C to 150°C

† Stresses beyond those listed under “absolute maximum ratings” may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under “recommended operating conditions” is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTE 1: All voltage values are with respect to network ground terminal.

2. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.

recommended operating conditions

		MIN	NOM	MAX	UNIT
V_{CC}	Supply voltage	4.5	5	5.5	V
V_{IH}	High-level input voltage (T1IN, T2IN)	2			V
V_{IL}	Low-level input voltage (T1IN, T2IN)			0.8	V
R1IN, R2IN	Receiver input voltage			±30	V
T_A	Operating free-air temperature	MAX232	0	70	°C
		MAX232I	–40	85	

electrical characteristics over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature (unless otherwise noted) (see Note 3 and Figure 4)

PARAMETER		TEST CONDITIONS		MIN	TYP‡	MAX	UNIT
I_{CC}	Supply current	$V_{CC} = 5.5$ V, $T_A = 25^\circ$ C	All outputs open,		8	10	mA

‡ All typical values are at $V_{CC} = 5$ V and $T_A = 25^\circ$ C.

NOTE 3: Test conditions are C1–C4 = 1 μ F at $V_{CC} = 5$ V \pm 0.5 V.

MAX232, MAX232I DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS

SLLS0471 – FEBRUARY 1989 – REVISED OCTOBER 2002

DRIVER SECTION

electrical characteristics over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature range (see Note 3)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP†	MAX	UNIT
V _{OH}	High-level output voltage	T1OUT, T2OUT R _L = 3 kΩ to GND	5	7		V
V _{OL}	Low-level output voltage‡	T1OUT, T2OUT R _L = 3 kΩ to GND		-7	-5	V
r _o	Output resistance	T1OUT, T2OUT V _{S+} = V _{S-} = 0, V _O = ±2 V	300			Ω
I _{OS} §	Short-circuit output current	T1OUT, T2OUT V _{CC} = 5.5 V, V _O = 0		±10		mA
I _{IS}	Short-circuit input current	T1IN, T2IN V _I = 0			200	μA

† All typical values are at V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C.

‡ The algebraic convention, in which the least positive (most negative) value is designated minimum, is used in this data sheet for logic voltage levels only.

§ Not more than one output should be shorted at a time.

NOTE 3: Test conditions are C1–C4 = 1 μF at V_{CC} = 5 V ± 0.5 V.

switching characteristics, V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C (see Note 3)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
SR	Driver slew rate	R _L = 3 kΩ to 7 kΩ, See Figure 2			30	V/μs
SR(t)	Driver transition region slew rate	See Figure 3		3		V/μs
	Data rate	One TOUT switching		120		kbit/s

NOTE 3: Test conditions are C1–C4 = 1 μF at V_{CC} = 5 V ± 0.5 V.

RECEIVER SECTION

electrical characteristics over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature range (see Note 3)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP†	MAX	UNIT
V _{OH}	High-level output voltage	R1OUT, R2OUT I _{OH} = -1 mA	3.5			V
V _{OL}	Low-level output voltage‡	R1OUT, R2OUT I _{OL} = 3.2 mA			0.4	V
V _{IT+}	Receiver positive-going input threshold voltage	R1IN, R2IN V _{CC} = 5 V, T _A = 25°C		1.7	2.4	V
V _{IT-}	Receiver negative-going input threshold voltage	R1IN, R2IN V _{CC} = 5 V, T _A = 25°C	0.8	1.2		V
V _{hys}	Input hysteresis voltage	R1IN, R2IN V _{CC} = 5 V	0.2	0.5	1	V
r _i	Receiver input resistance	R1IN, R2IN V _{CC} = 5, T _A = 25°C	3	5	7	kΩ

† All typical values are at V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C.

‡ The algebraic convention, in which the least positive (most negative) value is designated minimum, is used in this data sheet for logic voltage levels only.

NOTE 3: Test conditions are C1–C4 = 1 μF at V_{CC} = 5 V ± 0.5 V.

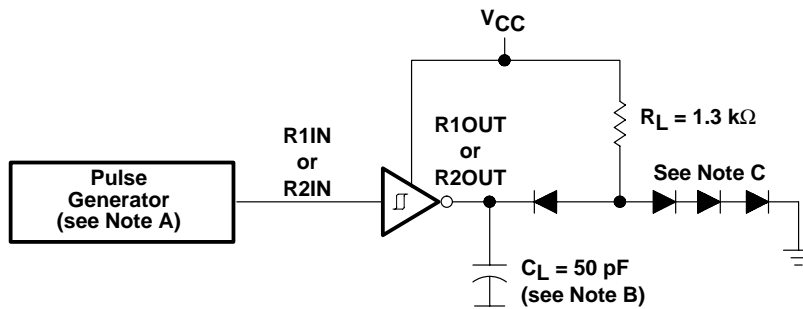
switching characteristics, V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C (see Note 3 and Figure 1)

PARAMETER		TYP	UNIT
t _{PLH(R)}	Receiver propagation delay time, low- to high-level output	500	ns
t _{PHL(R)}	Receiver propagation delay time, high- to low-level output	500	ns

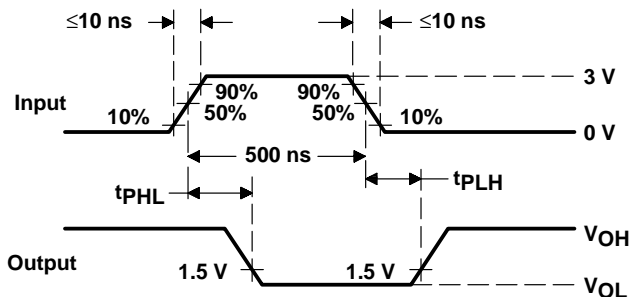
NOTE 3: Test conditions are C1–C4 = 1 μF at V_{CC} = 5 V ± 0.5 V.



PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



TEST CIRCUIT



WAVEFORMS

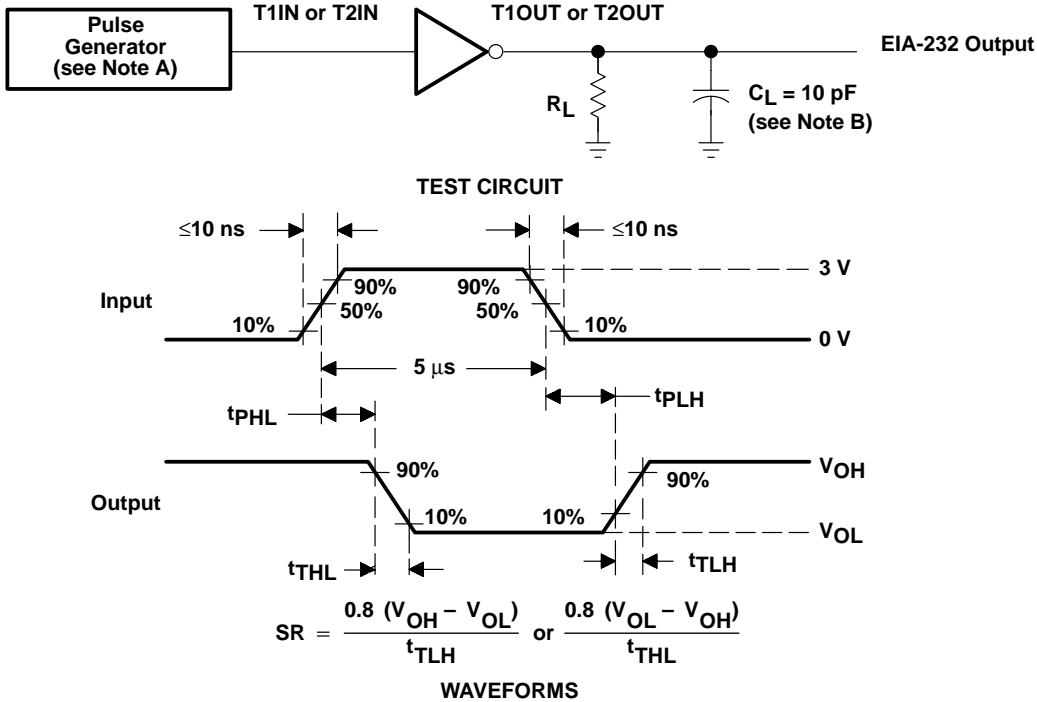
- NOTES: A. The pulse generator has the following characteristics: $Z_O = 50 \Omega$, duty cycle $\leq 50\%$.
 B. C_L includes probe and jig capacitance.
 C. All diodes are 1N3064 or equivalent.

Figure 1. Receiver Test Circuit and Waveforms for t_{PHL} and t_{PLH} Measurements

MAX232, MAX232I DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS

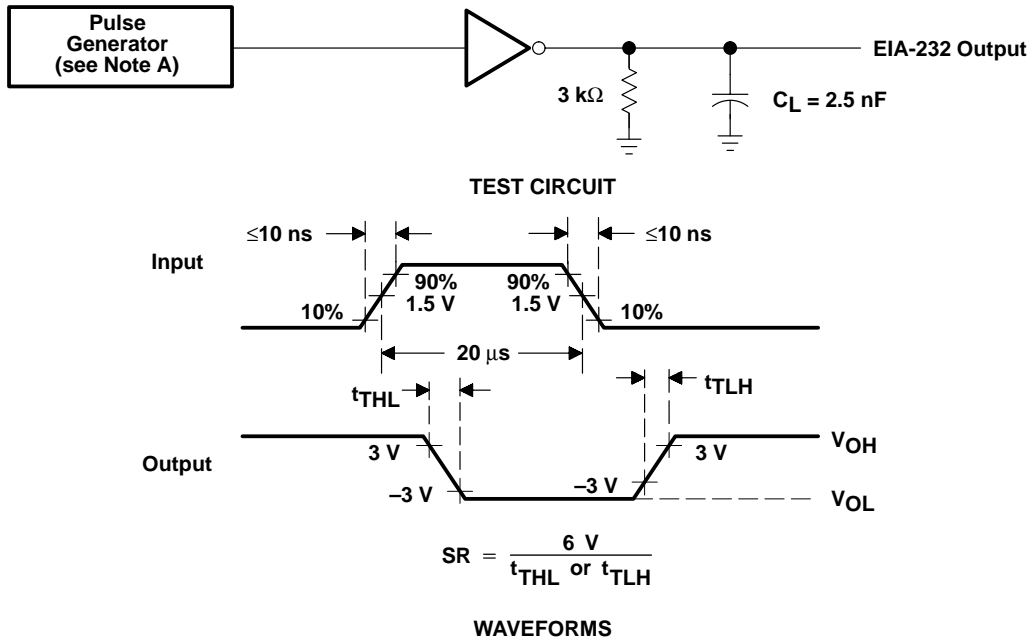
SLLS0471 – FEBRUARY 1989 – REVISED OCTOBER 2002

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



NOTES: A. The pulse generator has the following characteristics: $Z_O = 50 \Omega$, duty cycle $\leq 50\%$.
B. C_L includes probe and jig capacitance.

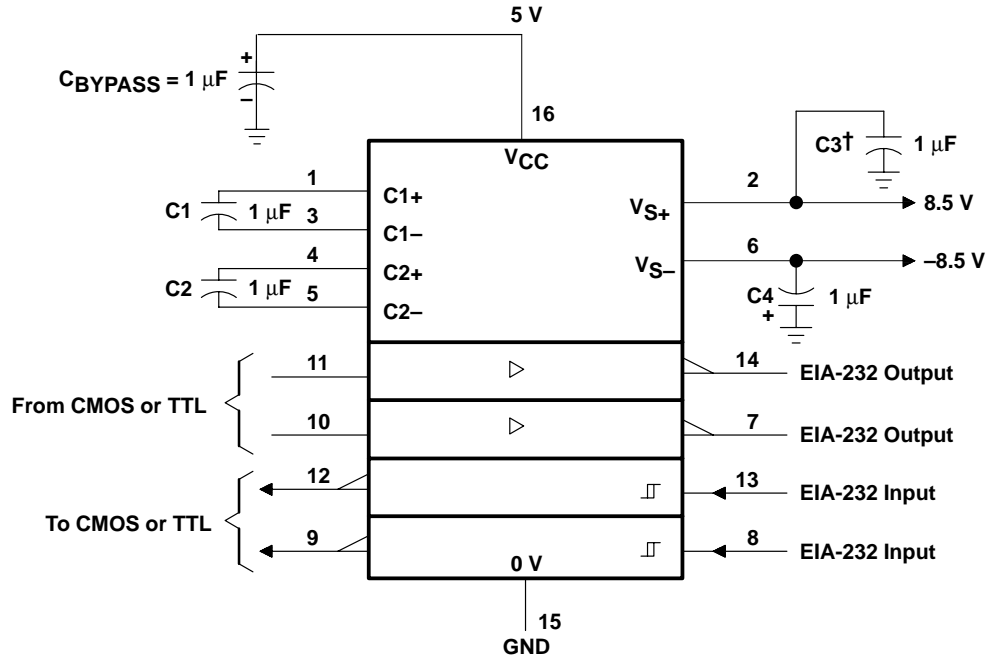
Figure 2. Driver Test Circuit and Waveforms for t_{PHL} and t_{PLH} Measurements (5- μs Input)



NOTE A: The pulse generator has the following characteristics: $Z_O = 50 \Omega$, duty cycle $\leq 50\%$.

Figure 3. Test Circuit and Waveforms for t_{THL} and t_{TLH} Measurements (20- μs Input)

APPLICATION INFORMATION



[†] C3 can be connected to V_{CC} or GND.

Figure 4. Typical Operating Circuit

IMPORTANT NOTICE

Texas Instruments Incorporated and its subsidiaries (TI) reserve the right to make corrections, modifications, enhancements, improvements, and other changes to its products and services at any time and to discontinue any product or service without notice. Customers should obtain the latest relevant information before placing orders and should verify that such information is current and complete. All products are sold subject to TI's terms and conditions of sale supplied at the time of order acknowledgment.

TI warrants performance of its hardware products to the specifications applicable at the time of sale in accordance with TI's standard warranty. Testing and other quality control techniques are used to the extent TI deems necessary to support this warranty. Except where mandated by government requirements, testing of all parameters of each product is not necessarily performed.

TI assumes no liability for applications assistance or customer product design. Customers are responsible for their products and applications using TI components. To minimize the risks associated with customer products and applications, customers should provide adequate design and operating safeguards.

TI does not warrant or represent that any license, either express or implied, is granted under any TI patent right, copyright, mask work right, or other TI intellectual property right relating to any combination, machine, or process in which TI products or services are used. Information published by TI regarding third-party products or services does not constitute a license from TI to use such products or services or a warranty or endorsement thereof. Use of such information may require a license from a third party under the patents or other intellectual property of the third party, or a license from TI under the patents or other intellectual property of TI.

Reproduction of information in TI data books or data sheets is permissible only if reproduction is without alteration and is accompanied by all associated warranties, conditions, limitations, and notices. Reproduction of this information with alteration is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for such altered documentation.

Resale of TI products or services with statements different from or beyond the parameters stated by TI for that product or service voids all express and any implied warranties for the associated TI product or service and is an unfair and deceptive business practice. TI is not responsible or liable for any such statements.

Mailing Address:

Texas Instruments
Post Office Box 655303
Dallas, Texas 75265

This datasheet has been download from:

www.datasheetcatalog.com

Datasheets for electronics components.