



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN



Transmisión de Datos Sobre la Red Eléctrica

Presenta: Marcos Alberto Osornio Silva
Asesor: Ing. Rafael Antonio Márquez Ramírez

Trabajo de Tesis para obtener el título de Ingeniero Mecánico Electricista

AGOSTO DE 2006



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	5
OBJETIVOS	6

I. Retos y Problemas para Establecer una Comunicación Sobre la Red Eléctrica. Antecedentes y Usos

8

I.1 Antecedentes de las Comunicaciones Sobre la Red Eléctrica	8
I.1.1 Las Redes de Distribución Eléctrica	9
I.1.2 Las Redes Industriales	11
I.1.3 Las Redes Caseras	11
I.2 Retos y Problemas	13
I.2.1 Ruido y Distorsión	13
I.2.2 Impedancia y Atenuación del Canal de Alimentación Eléctrica	18
I.3 Sistemas Actualmente en Uso	23
I.4 Tipos de Tecnología PLC y sus Regulaciones	25
I.4.1 Dispositivos Digitales de Banda Baja	26
I.4.2 Dispositivos Digitales de Banda Alta	28
I.5 Conclusiones	30

II. Aspectos Prácticos. Planteamiento del Sistema

32

II.1 Métodos de Modulación	32
II.1.1 Modulación FSK	32
II.1.2 Modulación ASK	34
II.1.3 Modulación PSK	36
II.1.4 Conclusión	38
II.2 El Acoplamiento con la Red Eléctrica	39
II.2.1 Componentes del Circuito de Acoplamiento	40
II.3 Métodos de Control de Errores	42
II.3.1 Detección de Errores	42
II.3.2 Corrección de Errores	45
II.4 Protocolos	47

II.5 Conclusiones	48
III. Diseño, Desarrollo e Implementación del Sistema	49
III.1 La Etapa de Transmisión	49
III.2 El Circuito de Acoplamiento	53
III.3 La Etapa de Recepción	56
III.4 La Fuente de Alimentación	61
III.5 El Programa. Sistema MX	62
IV. Pruebas y Resultados	66
Antecedentes	66
IV.1 El Sistema Trabajando	68
IV.2 Probando el Sistema	70
IV.3 Aplicación	72
CONCLUSIONES	75
GLOSARIO	81
BIBLIOGRAFÍA	83
APÉNDICES	
A	85
B1	87
B2	89
C	96

El artículo 1° de la Ley Orgánica de la Universidad Nacional Autónoma de México expresa:

“La Universidad Nacional Autónoma de México es una corporación pública -organismo descentralizado del Estado- dotada de plena capacidad jurídica y que tiene por fines impartir educación superior para formar profesionistas, investigadores, profesores universitarios y técnicos útiles a la sociedad; organizar y realizar investigaciones, principalmente acerca de las condiciones y problemas nacionales, y extender con la mayor amplitud posible los beneficios de la cultura.”

Tomando como base estos elementos queda claro que es responsabilidad de todo estudiante universitario el contribuir a que esta Máxima Casa de Estudios alcance los preceptos que enuncia el citado artículo de su legislación.

Es básico para el desarrollo de México el contar con instituciones como la UNAM impulsada por un constante avance en todas las áreas de investigación; sólo mediante la preservación de estas instituciones que son responsables de la generación de gente con crítica y pensamiento propio, México podrá obtener el lugar preponderante que le corresponde en el mundo.

Con el fin de colaborar con el cumplimiento de los objetivos que persigue la UNAM, se presenta el siguiente trabajo de tesis esperando sea de utilidad tanto para la comunidad universitaria como para la institución misma.

INTRODUCCIÓN

Con el avance de las comunicaciones se ha incrementado de forma patente la necesidad de un sistema que sea accesible, confiable y satisfactorio para el usuario. Las comunicaciones sobre la red eléctrica (CSRE) o PLCC por sus siglas en inglés (Power Line Carrier Communications) han sido, en el transcurso de los últimos años, un foco de atención en el área de las comunicaciones digitales, sin embargo, en México es un área prácticamente incipiente.

Las comunicaciones sobre la red eléctrica se basan en el uso de la infraestructura de distribución de energía eléctrica con el fin de establecer un enlace de comunicación. Esto significa que prácticamente cualquier edificio cumple con los requerimientos mínimos para implementar este sistema.

Este trabajo describe de forma tanto teórica como práctica:

1. Los argumentos teóricos en los que se ha basado el sistema
2. El planteamiento de los retos para llevar a cabo su implementación
3. Las soluciones encontradas para dichos retos
4. El proceso de diseño e implementación del sistema de forma detallada
5. Finalmente, las conclusiones obtenidas con la elaboración de este trabajo

OBJETIVOS

Diseñar e implementar un sistema de control basado en una red de microcontroladores estableciendo un canal de comunicaciones sobre la línea de baja tensión de un edificio.

Para cumplir con este objetivo general se plantean los siguientes puntos:

- Inicialmente, la comunicación se realizará entre un sistema de microcontroladores que interactuarán entre sí bajo un protocolo diseñado dentro de este mismo trabajo. Para esto se diseñará e implementará la circuitería de un módem dúplex (transmisor-receptor), que será usado para intercomunicar los dispositivos por este mismo medio.
- El protocolo de comunicación deberá ser original, contar con un sistema de sincronía y debe considerar diversos casos de error.
- El sistema deberá ser capaz de transmitir y recibir datos desde cualquier punto del edificio a través de una misma fase a la velocidad establecida, la cual se fijará inicialmente en 1200 baudios, y una vez logrado este objetivo de forma suficientemente robusta, se planteará alcanzar velocidades de transferencia mayores. Asimismo, deberá ser capaz de trabajar de forma consistente ante las condiciones de ruido y distorsión que comúnmente existen en un entorno de alimentación eléctrica de baja tensión.

- Una vez comprobada la eficiencia del sistema basado en los criterios expuestos en el punto anterior, se pretende dar una aplicación de control casero al módem construido implementando una red de microcontroladores de la línea AVR de ATMEL.
- El edificio L-3 de la FES Aragón es donde se realizarán la mayor parte de las pruebas del sistema, sin embargo, se pretende que sea utilizable en cualquier instalación monofásica (127 volts), por lo que se realizarán pruebas finales en un domicilio particular bajo condiciones de operación reales.
- Un requisito con el que debe cumplirse para el desarrollo de este trabajo es el de optimizar los recursos disponibles y utilizar elementos de bajo costo para la construcción del sistema.

I. Retos y Problemas para Establecer una Comunicación Sobre la Red Eléctrica.

Antecedentes y Usos.

La transmisión de datos sobre la red eléctrica se ha investigado y estudiado durante mucho tiempo, y apenas en los últimos años comienza a figurar en el mercado, pero aún no tiene un lugar significativo como sistema de comunicación. Los sistemas comerciales resultan difíciles de implementar y de capacidad muy limitada. Sin embargo, la concentración en las investigaciones sobre este tema ha llevado al surgimiento de nuevos dispositivos y técnicas de alta velocidad que comienzan a llegar al mercado y se han implementado de manera exitosa a pesar de la gran polémica que se ha generado en el mundo por la explotación de esta tecnología.

En los siguientes apartados se presenta una descripción de los sistemas actuales disponibles y de sus estándares, detallando los retos que limitan su capacidad, y echando un vistazo a los métodos modernos aplicables a este tipo de comunicaciones y a su clasificación. De igual forma, se hace mención a las normas establecidas para este tipo de comunicaciones en Norteamérica y Europa que, son las dos regiones predominantes del mundo.

I.1 Las Comunicaciones Sobre la Red Eléctrica

Si bien en los últimos años el uso de la transmisión de datos sobre las redes de distribución eléctrica con fines de comunicación ha tenido un auge considerable, no es un concepto nuevo, ya que se ha venido utilizando este medio de distintas formas con este propósito. A continuación se

hace mención de los diferentes tipos de redes de distribución de energía eléctrica en función del uso y características de las mismas con el fin de establecer comunicaciones a través de ellas.

I.1.1 Las Redes de Distribución Eléctrica.

Las líneas de tensión conectan las estaciones de generación con un número de consumidores dispersos en una región. La transmisión de energía se realiza variando voltajes y cables de distribución. Las características del cableado y el número de nodos en la red eléctrica juegan un papel de suma importancia sobre el tipo de tecnología de comunicación que ha de ser implementada. Tomando como base los niveles de voltaje que se manejan en las líneas de tensión, éstas se clasifican en:

- a. Líneas de Alta Tensión (138 a 765 kV).- Conectan a las estaciones de generación con las estaciones de distribución. Manejan niveles de voltaje en el orden de los cientos de kilovoltios y pueden manejar distancias de hasta decenas de kilómetros de cableado.

Representan excelentes portadoras para las señales de radiofrecuencia ya que usualmente son de cable desnudo con pocos cruces de línea. Una potencia de transmisión de apenas 10 watts es suficiente para abarcar más de 500 kilómetros.

Alrededor del año de 1922 el primer sistema de frecuencia de portadora (CFS o carrier frequency system) comenzó a operar sobre líneas de alta tensión en el rango de frecuencia de 15 a 1500kHz, manteniendo siempre la operabilidad de la red de distribución eléctrica. Hoy en día, con la aplicación de esquemas modernos de modulación y codificación se ha alcanzado una mejora significativa en la eficiencia de ancho de banda de CFS.

- b. Líneas de Mediana Tensión (15 a 69 kV).- Conectan a las estaciones de distribución con los transformadores de bajada. Manejan voltajes de unos cuantos kilovoltios y recorren distancias de pocos kilómetros. La industria pesada suele trabajar a unos 33 kV y los trenes eléctricos requieren de 15 a 25 kV.

- c. Líneas de Baja Tensión(110 a 415 V).- Conectan a los transformadores de bajada con las líneas de cada casa o línea particular. Manejan voltajes de pocos cientos de voltios y se extienden a través de unos cuantos cientos de metros. La industria suele trabajar a tensiones entre los 220 y los 425V, mientras que los hogares y demás particulares reciben de 110 a 127 voltios.

Tanto las líneas de baja tensión como las de mediana se caracterizan por tener un gran número de cruces de conexiones y varios tipos de conductores, ya sean de cable o cable desnudo. La propagación de señales de RF a larga distancia es extremadamente mala debido a la alta atenuación y a los problemas de acoplamiento de impedancias. En 1930, comenzaron a operar los sistemas RCS, Señalización de Portadora de Rizo (Ripple Carrier Signaling), sobre este tipo de líneas. Estos usaban frecuencias dentro del rango de los 3kHz a los 125kHz con modulación por corrimiento de amplitud, ASK (Amplitude Shift Keying). La velocidad de transmisión alcanzada por RCS fue de unos cuantos bits por segundo y sus principales objetivos fueron el manejo de cargas y reconfiguración automática de las redes de distribución de energía.

Como podemos ver, las CSRE (Comunicaciones Sobre la Red Eléctrica) o por sus siglas en inglés PLC (Power Line Communications) fueron utilizadas en un principio casi exclusivamente por las compañías de servicio de distribución eléctrica para mantenimiento de las mismas redes y del suministro de energía.

Recientemente las comunicaciones de datos sobre las líneas de tensión han ganado una creciente atención debido principalmente a factores como el auge de Internet así como la búsqueda de nuevos medios, sistemas de modulación, codificación y detección de errores y desarrollo de nuevo *hardware* para alcanzar velocidades de transmisión de datos cada vez mayores.

I.1.2 Las Redes Industriales.

Con la mejora continua de las operaciones automáticas en el ambiente industrial, se ha requerido en los últimos tiempos de sistemas que cumplan con los requerimientos de transferencia de grandes cantidades de información, y en muchos casos, de su procesamiento en tiempo real. Muchas metodologías han sido analizadas e implementadas al respecto. La alternativa típicamente usada consiste en recurrir a tecnología de redes de banda ancha como IP y redes LAN inalámbricas para cumplir con los requerimientos del entorno industrial. Sin embargo, debido a los avances alcanzados en los últimos años, es posible pensar en el uso de las líneas de tensión como una alternativa de comunicación de alta velocidad orientada a la automatización industrial de un área pequeña.

I.1.3 Las Redes Caseras.

Como se ha observado, las técnicas de CSRE han sido tradicionalmente utilizadas en algunos países por empresas de servicio eléctrico para el control y monitoreo de sus redes de distribución o para sistemas simples de automatización caseros. Con el rápido crecimiento de las redes caseras, los métodos de CSRE se han convertido en un camino sumamente viable de implementar redes de bajo costo, confiables y de gran accesibilidad en el ambiente casero.

El término *red casera* se refiere a diversos sistemas y aparatos eléctricos que tienen comunicación entre sí. Estas redes crecen de forma vertiginosa obedeciendo a ciertos factores:

- Para el año de 1997, aproximadamente el 35% de los hogares en los Estados Unidos, contaban con más de una computadora, mientras que para el año 2000 esta cifra

sobrepasó el 61%. De esta forma se vuelve necesaria la instalación de una red casera que permita el fácil intercambio de información e incluso, compartir un acceso a Internet. En consecuencia, la necesidad de establecer una conectividad de PC a PC crece aceleradamente.

- Los aparatos inteligentes se han vuelto desde hace algunos años más y más comunes, lo cual lleva a la búsqueda de formas de interconexión.
- Aparatos como sistemas de seguridad, sistemas de intercomunicación, monitores para bebé, sistemas de entretenimiento en habitaciones múltiples, entre otros muchos, dependen de ligas de comunicación para su operación. Las tecnologías actualmente disponibles para lograr una red casera son:

- *Comunicación por radiofrecuencia.*- Aunque no necesita de cable alguno y es bastante flexible, son actualmente demasiado caras para ser accesibles al usuario promedio.
- *Redes telefónicas.*- Usar la línea telefónica en una casa como canal de comunicación resulta ser un método costeable y de alto desempeño.
- *Esquemas de cableado tradicionales (cable coaxial, par trenzado, etc.).*- Son de bajo costo y alto desempeño y representan una buena forma de implementar una red de comunicaciones en un edificio en construcción, siendo bastante impráctica para un edificio ya construido.
- *Comunicaciones sobre la red eléctrica (CSRE).*- Esta técnica tiene el potencial de instalar una red de comunicaciones de forma económica en cualquier edificio, sea nuevo o viejo, siempre que cuente con una instalación eléctrica, pudiéndose obtener comunicación en cualquier punto o habitación de la casa con una toma de energía. Hasta hace algunos años, los sistemas CSRE eran lentos y simples, sin embargo, con la aplicación de técnicas modernas de comunicaciones en estos sistemas, se han obtenido avances considerables en el área. Ahora bien, como se

ha mencionado con anterioridad, en México no se cuenta con servicios de este tipo, lo cual resulta ser uno de los principales móviles para el desarrollo de este trabajo.

I.2 Retos y Problemas.

Las líneas de distribución eléctrica no están diseñadas para la transmisión de datos, ya que están hechas para soportar bajas frecuencias (50-60 y hasta 400 Hz), y por lo tanto resultan un medio sumamente hostil que dificulta la propagación certera de las señales de comunicación. Los niveles de ruido son casi siempre muy grandes, de igual forma que lo es la atenuación para las frecuencias de interés. Además, parámetros de suma importancia, como lo son la impedancia y la atenuación del canal son en la mayoría de los casos impredecibles.

Los principales problemas que se enfrentan para implementar un sistema de comunicaciones por la red eléctrica se explican a continuación en mayor detalle.

I.2.1 Ruido y Distorsión

Las causas principales de ruido en las redes de sistemas de potencia son los relámpagos, las descargas de corona, los bancos de corrección del factor de potencia y los circuitos interruptores de operación. En el lado de bajo voltaje, mucho del ruido es filtrado por transformadores de medio a bajo voltaje, de forma que la mayor parte del ruido que aparece en las redes caseras se debe atribuir a los mismos aparatos utilizados dentro de ellas. Por otro lado, existe otra fuente de ruido e interferencia constituida por las señales de radiofrecuencias comerciales, militares y de radioaficionado. El ruido y las distorsiones que aparecen en la red eléctrica se pueden clasificar de la siguiente forma:

a) *Distorsión de forma de onda.* - Incluyen:

- 1) Sobrevoltajes que persisten por más de 2 segundos o que son intermitentes por más de 2 segundos.
- 2) Bajos voltajes ya sean persistentes o intermitentes.
- 3) Apagones.
- 4) Variaciones de frecuencia.
- 5) Distorsiones por armónicos.

b) *Distorsiones superimpuestas.* - Estas comprenden:

- 1) Oscilaciones persistentes.
- 2) Distorsiones transitorias.

Las distorsiones de forma de onda son usualmente de poco efecto sobre el sistema de CSRE. Un transmisor-receptor es suficientemente robusto para lidiar con las distorsiones de un sobrevoltaje menor y una baja del mismo. En virtud de que la señal que transporta los datos se monta sobre la senoidal de la alimentación eléctrica, además de que la circuitería del transmisor receptor es energizada a partir de la misma toma eléctrica, la transmisión de los datos resulta imposible en caso de que ocurra un apagón total; mientras que un apagón en una sección de la red sólo impedirá el funcionamiento de la parte del sistema que se encuentre conectada en dicha sección de la red eléctrica.

Las distorsiones de armónicos pueden ser una mayor fuente de problemas a pesar de que estas ocurren en frecuencias por debajo de las designadas para los sistemas de CSRE.

Las variaciones de frecuencias son las responsables de originar los mayores problemas, ya que la sincronización entre transmisor y receptor de la mayoría de los sistemas simples recae sobre la

portadora principal (la onda sinusoidal de 60 Hz). La variación de frecuencia da como resultado errores de transmisión. Los sistemas modernos son capaces de solucionar este problema evitando el depender de la portadora principal para la sincronización.

En redes de mediana potencia, el ruido de Tipo B es causado por fábricas grandes con plantas extensas o maquinaria, así como por usuarios industriales con sistemas pobremente filtrados. En el lado de baja tensión se tienen como responsables de este tipo de ruido a cierto tipo de instalaciones y equipos. A continuación se presenta una clasificación de este tipo de ruido según las causas que lo producen:

- A. El ruido que se produce al tener componentes síncronos lineales con la frecuencia del sistema de potencia.
- B. El ruido con un espectro suavizado.
- C. El ruido por impulso unitario.
- D. El ruido *no-síncrono*.

A. El ruido que se produce al tener componentes síncronos lineales con la frecuencia del sistema de potencia

La fuente usual de este tipo de ruido (Tipo A) son los llamados triacs o rectificadores controlados de silicio (SCR's), que se encuentran en el entorno doméstico en, por ejemplo, controladores de iluminación y fotocopiadoras. El espectro de este ruido consiste de una serie de armónicos de la misma frecuencia principal (60 Hz).

Hay tres formas de combatir este tipo de ruido:

- Utilizando esquemas de modulación que eviten el uso de la frecuencia principal.
- Filtrando estas componentes de ruido usando un filtro adecuado.

- Considerando la representación del ruido tipo A en el dominio del tiempo, un pulso de ruido puede ser esperado a intervalos iguales. Usando adecuadamente esquemas simples de multiplexaje por división de tiempo y corrección de errores, los efectos indeseables pueden ser minimizados.

B. El ruido con espectro suavizado.

El ruido tipo B es causado generalmente por los motores universales. Es el resultado del proceso de conmutación en aparatos que funcionan con motores como licuadoras y limpiadoras de vapor, este ruido posee un espectro delgado en los rangos de frecuencia utilizados por los sistemas de CSRE.

Una característica de los aparatos que utilizan motores universales es que casi siempre son utilizados por períodos de tiempo cortos. Esto significa que los sistemas de CSRE que no tienen que funcionar en tiempo real pueden evitar este tipo de ruido si operan en los tiempos en que no hay ruido. Sin embargo, los sistemas de tiempo real deben ser capaces de lidiar con el ruido tipo B.

C. El ruido por impulso unitario.

El ruido tipo C es principalmente debido al switcheo de luces de fantasía, al apagado y encendido de contactos, etc. Este tipo de ruido distorsiona a la banda de frecuencia entera por un tiempo corto, y es usualmente modelado como un impulso de distorsión debido a que dura un tiempo relativamente corto. La experiencia con ruido de impulso en comunicaciones indica que puede ser suprimido mediante la implementación de códigos de detección de errores.

D. El ruido no-síncrono.

El ruido tipo D se caracteriza por componentes periódicos que ocurren a frecuencias diferentes de la principal. Las principales fuentes de este ruido son los televisores y los monitores de computadora. Las señales de scanneo y sincronización en estos aparatos causan componentes de ruido a frecuencias conocidas, por ejemplo, la interferencia aportada por un set de televisión es a 15734 kHz y sus armónicos asociados. Los diferentes estándares de scanneo de computadoras y televisores tienen diferentes componentes de ruido radiadas. La solución para minimizar esta interferencia es evitar la transmisión de datos a 15734 kHz y sus armónicos asociados, así como utilizar un esquema de modulación que tenga diversidad de frecuencias para de esta forma evitar posible interferencia por este tipo de ruido a frecuencias imprevistas.

En la tabla 1 se muestran los valores de amplitud y duración del ruido de varios aparatos de uso común.

Aparato Eléctrico	Amplitud (mV)		Duración (μs)	
	Promedio	Desviación Estándar	Valor Promedio	Desviación Estándar
(Pulso unitario)				
Horno Eléctrico	329.2	431.2	1015.8	505.2
Plancha	369.3	585.8	760.2	347.9
(Pulsos Periódicos)				
Regulador de Luminosidad	670.8	1199.3	140	7.5
Televisor	197.2	311.3	722.4	34.3
(Pulsos Continuos)				
Limpiadora de Vapor	1457.5	2155.5	Siempre	_____
Secadora	87.9	119.7	105.3	56

TABLA 1

Basada en datos proporcionados por G. Marubayashi y S. Tachikawa, "Spread Spectrum Transmission on Residential Power Line", Conferencia de IEEE sobre Técnicas de Propagación de Espectro, Enero de 1996 [8].

I.2.2 Impedancia y Atenuación del Canal de Alimentación Eléctrica.

La impedancia característica de un cable de alimentación sin carga se puede obtener por un parámetro de modelo distribuido estándar y están dadas por:

$$Z = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

Para las frecuencias de interés de nuestro estudio, esta expresión se simplifica:

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Donde L y C son, respectivamente, la inductancia y la capacitancia por medida de unidad de longitud. Malack y Engstrom listan la impedancia característica de los cables dentro de un rango de 70 a 100 ohms.

Sin embargo, no es posible utilizar un modelo de un canal linealmente distribuido puesto que se presentan diversas cargas a lo largo de este, de diferentes impedancias y conectadas por diferentes lapsos. De esta forma tenemos que el canal es una variable con grandes fluctuaciones difíciles de predecir. En la tabla 1.2 se muestran algunos modelos de impedancias medidos para algunos aparatos de uso doméstico comunes. Como se puede observar, los valores de impedancia varían enormemente. La impedancia total del canal resulta de la conexión en paralelo de todas las cargas de la red, de forma que las impedancias más pequeñas juegan un papel predominante en la determinación de la impedancia total. Cada autor otorga diferentes valores de impedancia a la línea, por ejemplo, Dostert considera una impedancia que va de los 2 a los 150 Ω ; Schaap da un valor de 0.1 a 2 Ω para redes de bajo potencial, mientras que para Malack y Engstrom tiene valores entre 0 y 80 Ω . Sin embargo, todos coinciden en que la impedancia de la línea es notablemente baja, lo cual representa retos significativos al diseñar una red de acoplamiento para el sistema de CSRE. La teoría de la transferencia de Máxima Potencia enuncia que la impedancia del transmisor y del canal debe coincidir para que se logre una máxima eficiencia. Esto resulta extremadamente difícil con una línea que varía constantemente su impedancia. Así tenemos que el diseñador del sistema de CSRE debe cumplir con diseñar un transmisor y un receptor con una impedancia, tanto de entrada como de salida, lo suficientemente baja para aproximarse lo más posible a igualar las condiciones de impedancia previstas.

La atenuación de la señal de comunicación en el sistema es alta, y si a esto se le añaden los problemas para igualar las impedancias de la línea, resulta en un nivel de atenuación aún mayor; sin embargo, a pesar de que autores como Schaap dan una referencia de atenuación en la línea de 100 dB/km, para el caso de una red dentro de un mismo edificio no representa un problema grave, mientras que para distancias de algunos cientos de metros se requerirá de repetidoras.

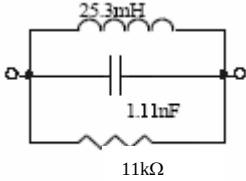
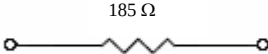
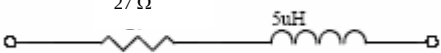
Aparato	Modelo de Impedancia
Refrigerador	
Foco	
Calentador Eléctrico	

TABLA 1.2

Basada en datos proporcionados por G. Marubayashi y S. Tachikawa, "Spread Spectrum Transmission on Residential Power Line", Conferencia de IEEE sobre Técnicas de Propagación de Espectro, Enero de 1996 [8].

Ahora bien, es posible insertar señales de alta frecuencia en la línea de energía eléctrica utilizando un filtro paso altas adecuado. La señal recibida será máxima cuando las impedancias del transmisor, la línea de energía y el receptor son igualadas. En el caso de canales de comunicación especializados para transmisión de datos que tienen impedancia conocidas, el acoplo de impedancias no es un reto. Sin embargo, las redes eléctricas están hechas de una gran variedad de

tipos de conductores y cruces imposibles de conocer. Entonces se tiene que la impedancia característica de la línea tenderá a variar dependiendo de la frecuencia de la señal transmitida y con el número de cargas que el usuario agregue a la red eléctrica. La desigualdad de impedancias da como resultado un efecto múltiple del que se obtienen pérdidas excesivas a diferentes frecuencias. En una casa promedio, la atenuación en la línea se encuentra entre los 20 y los 60 dB y se encuentra fuertemente determinada por las cargas conectadas en ella.

A las contingencias enunciadas arriba se deben sumar las restricciones en el uso de varias bandas de frecuencias que se le han impuesto a este tipo de sistemas de acuerdo a los organismos reguladores, tales como el CENELEC (Comité Europeo para la Estandarización Electrotécnica), lo cual limita las tasas de transferencia alcanzables. Este punto se tratará de manera más amplia en la sección I.4

Por otro lado, considerando que los parámetros de la línea, principalmente la carga, varían con el tiempo, es muy difícil determinar un modelo de canal de la red eléctrica preciso, de tal forma que la aplicabilidad de un modelo de este tipo es limitada, aunque existen dos topologías de modelos que han sido aceptadas en general por ser representaciones razonables del canal de CSRE.

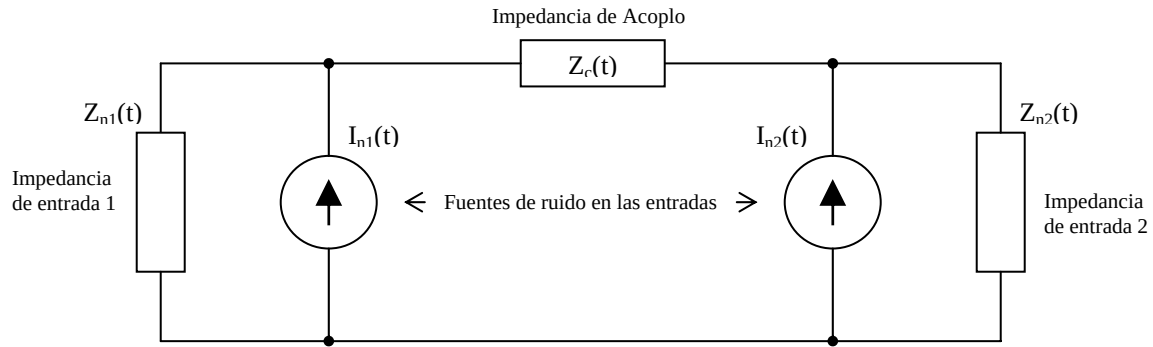


Fig. I.1 Modelo de Canal de CSRE de Dostert

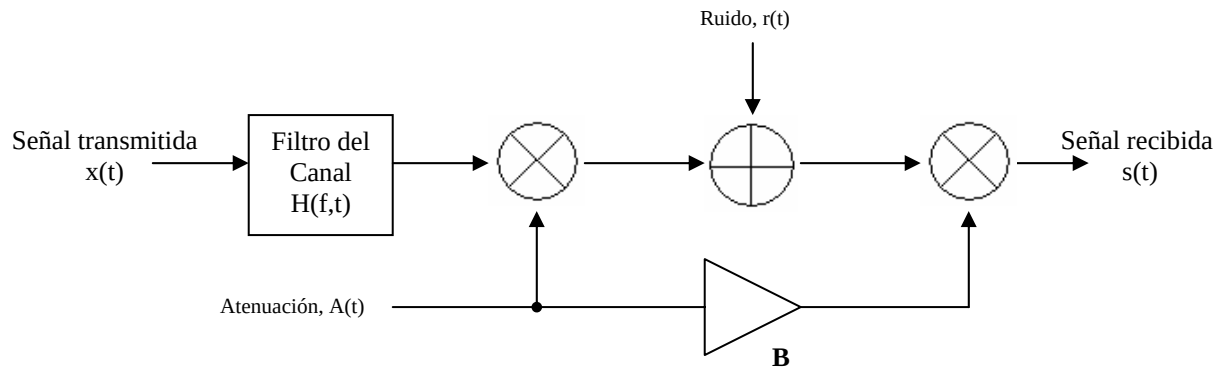


Fig. I.2 Modelo de Canal de CSRE de Onunga

Dostert propone el modelo descrito por la figura I.1, mientras que Onunga propone el modelo de canal de la figura I.2. En este último, la respuesta del filtro $H(f,t)$ varía de acuerdo a los cambios en las cargas conectadas a la línea, mientras que $A(t)$ representa la atenuación de la línea. El factor B representa el nivel de atenuación del ruido con respecto a la señal.

En ambos modelos se observa que todos los elementos se encuentran en función del tiempo y varían de forma incierta.

I.3 Sistemas Actualmente en Uso.

En el caso de redes caseras, las cuales son empleadas básicamente con propósitos de automatización del hogar, hay un número de sistemas comercialmente disponibles. Los sistemas más populares son:

- **CEBus (Consumer Electronics Bus).**- Se basa en el concepto de Red de Área Local (LAN) para el hogar. CEBus da estándares de protocolos para radiofrecuencia, par trenzado, CSRE (PLC) y otros métodos para redes caseras.

El estándar para CSRE especifica que un dígito binario está representado por el período en que una irrupción de frecuencia es aplicada al canal. Por ejemplo, un '1' binario está representado por una irrupción de 100 microsegundos, mientras que un '0' binario se representa por una irrupción de 200 microsegundos. Consecuentemente, la velocidad de transmisión con CEBus varía dependiendo de cuántos '0' o '1' sean enviados. También el estándar de CEBus especifica un lenguaje de controles orientados a objetos, los cuales incluyen comandos para subir o bajar el volumen, cambio de temperatura, etc. CEBus es un protocolo de marca registrada.

- **X-10.**- Originalmente propuesto en 1978, es el sistema más popular para la automatización casera. Consiste en un estándar simple que incluye mecanismos de direccionamiento para identificar individualmente a cada equipo o instalación. X-10 provee las especificaciones técnicas de cómo un dispositivo debe colocar una señal en la línea. Usando el punto de cruce por cero de la portadora principal para la sincronización, la presencia de una irrupción de 120KHz en este punto indica la transmisión de un '1' binario, mientras que la ausencia de esta frecuencia indica la transmisión de un '0'. X-10 contiene un detallado esquema de direccionamientos para evitar conflictos entre dispositivos; cada dispositivo contiene 2 direcciones, la de "casa" y la individual. Una transmisión típica

incluye un código de inicio, dirección de casa, dirección de dispositivo y el código de la función (encender, apagar, etc.). Este sistema es muy lento, apenas apto para propósitos de automatización casera, además de que no permite establecer con facilidad una comunicación de tipo dúplex.

- **LonWorks** es una tecnología desarrollada por la Corporación Echelon y provee una comunicación de punto a punto a través de un protocolo, su protocolo LonTalk. Utiliza tecnología CSMA (Carrier Sensed Multiple Access). Contrariamente a CEBus, LonWorks utiliza una técnica de modulación de espectro disperso de ancho de banda reducido, usando la banda de 125 a 140KHz. Utiliza un correlacionador multibit para preservar la integridad de los datos en presencia de ruido con una cancelación patentada de ruido por impulso. Una ventaja de este tipo de tecnología de ancho de banda reducido es que puede ser utilizado de igual forma bajo los estándares americanos y europeos.
- **HomePlug** es una tecnología de CSRE empleada inicialmente con aplicaciones de automatización casera, sin embargo, recientemente se ha implementado en el entorno industrial de forma satisfactoria. Esta tecnología contiene una combinación sofisticada de corrección predictiva de error (FEC) con un sistema de predicción de error y con solicitud automática de repetición (ARQ). Cuenta con una robusta capa física (PHY) y con un eficiente protocolo de control de acceso de media (MAC), el cual es una variante de CSMA. El esquema de transmisión utilizado es multicanalización por división ortogonal de frecuencia, OFDM. HomePlug es un sistema mucho más eficiente y de un alcance mayor en cuanto a velocidades de transmisión de datos se refiere con respecto a los sistemas descritos anteriormente.

Los sistemas arriba descritos, son algunos de los muchos que se emplean alrededor del mundo. En el caso de México, si bien no son de un uso extenso, existen sistemas CSRE que van desde

controles caseros de luces y aparatos domésticos hasta pequeñas redes de intercambio de información de conteo de audiencia televisiva

Un ejemplo de este último caso es la empresa IBOPE, cuyo sistema utiliza unos aparatos transmisores (*caja negra*) conectados a cada televisor y reproductor de video de una casa habitación. Estas *cajas negras* toman datos del canal y del número de personas que se encuentran observando la televisión para enviarlo a un aparato que recibe estos datos por medio de su conexión con la red eléctrica, almacena esta información a lo largo del día y a determinada hora, la envía a la central de la empresa vía telefónica.

I.4 Tipos de Tecnología PLC y sus Regulaciones.

Debido al gran interés que se ha despertado en los últimos años por las comunicaciones sobre la red eléctrica, se han alcanzado grandes avances en las tasas de transferencia sobre líneas de baja tensión que emplean los dispositivos en la actualidad. Por tanto, existe una clasificación para dichos dispositivos basada en el ancho de banda que usan:

- 1.- Dispositivos digitales de banda baja.
- 2.- Dispositivos digitales de banda alta.

I.4.1 Dispositivos Digitales de Banda Baja.

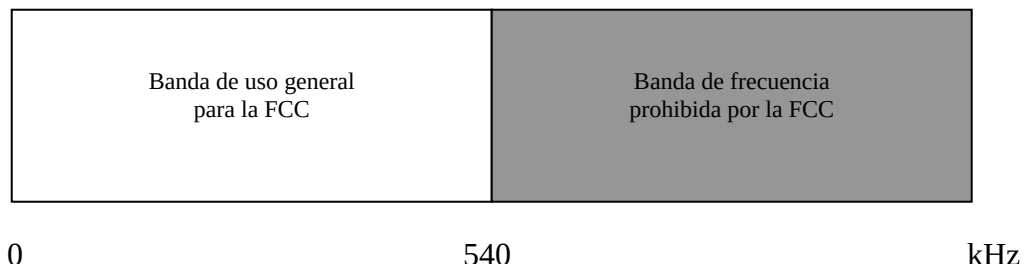
Estos dispositivos utilizan frecuencias de portadora que van de 0 a 500kHz y son básicamente utilizados para automatización de edificios tendiendo hacia la llamada "casa inteligente". La tecnología utilizada por estos dispositivos es la propiamente llamada PLC.

Las frecuencias usadas por estos dispositivos son restringidas por las limitantes impuestas por las agencias reguladoras. Estas regulaciones son establecidas para asegurar la coexistencia armoniosa de todos los aparatos electromagnéticos en una misma red eléctrica. En la figura 1 se muestran las restricciones de frecuencia impuestas para los dos principales mercados del mundo; Federal Communications Commission (FCC) para Norteamérica y el Comité Europeo para la Estandarización Electrotécnica (CENELEC) para Europa, son las instituciones que regulan respectivamente las bandas de comunicación en cada región del mundo.

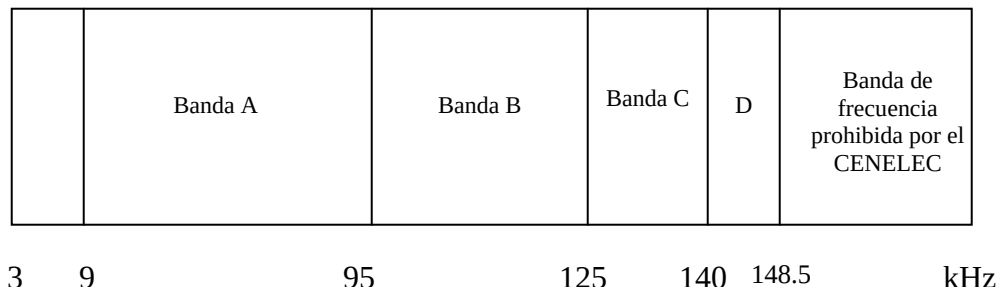
En el caso de Norteamérica, la banda que comprende de 0 a 500kHz puede ser utilizada para las CSRE. Sin embargo, la regulación para Europa es un poco más rigurosa. El espectro se divide en 5 bandas. Las bandas definidas para Europa son:

- De 3 a 9 kHz.- El uso de esta banda de frecuencia se reserva para los proveedores de energía; con autorización puede también ser utilizada por particulares.
- De 9 a 95 kHz.- También es reservada para el uso de los proveedores de energía y sus concesionarios. También se le llama Banda A.
- De 95 a 125 kHz.- Esta delimitada para los usuarios de los proveedores de energía. No hay un protocolo de acceso definido para esta frecuencia. También es llamada Banda B.

- De 125 a 140 kHz.- También se limita para el uso de los usuarios de los proveedores de energía. Para poder llevar a cabo la operación de varios sistemas al mismo tiempo, se emplea un protocolo sensor de acceso múltiple para esta banda con una frecuencia central definida en los 132.5 kHz. A esta se le llama también Banda C.
- De 140 a 148.5 kHz.- Se limita para uso de los consumidores de energía eléctrica. No hay protocolo de acceso definido para esta banda de frecuencia. Se le llama Banda D



(a) Delimitación de banda de frecuencia para Norteamérica



(b) Delimitación de bandas de frecuencias para Europa

FIGURA 1.3. DELIMITACIÓN DE BANDAS DE OPERACIÓN PARA NORTEAMÉRICA Y EUROPA

La norma EN50065 del CENELEC, especifica los requerimientos de inmunidad a la interferencia para los sistemas CSRE, considerando casos de interferencia con otros sistemas del mismo tipo, así como con ruido dentro del mismo sistema. Asimismo, en esta especificación se dan métodos de prueba para comprobar la inmunidad del sistema. Esta banda de frecuencias permite alcanzar velocidades de hasta 150kbps.

De igual forma, EN50065 especifica protocolos de comunicación, impedancia del equipo (evitando una excesiva atenuación de la señal debida a muchos equipos CSRE de baja impedancia en una red), y especificaciones de filtros para remover la portadora de la señal. El CENELEC especifica que la máxima potencia de transmisión de un sistema CSRE no debe exceder los 500mW.

I.4.2 Dispositivos Digitales de Banda Alta. Tecnología BPL (Broadband Over Power Line).

La transmisión de datos a alta velocidad ha ganado atención recientemente debido en gran parte al auge de Internet que ha creado una demanda acelerada en el mercado de las telecomunicaciones y los dispositivos digitales de banda alta están diseñados para explotar dicho mercado. Estos dispositivos son utilizados para crear una red de área local (LAN) dentro de un edificio a través de la infraestructura eléctrica interconectando varios dispositivos digitales.

La tecnología BPL (Broadband over Power Line) o Banda Ancha sobre la Red Eléctrica es una forma especial de CSRE diseñada para brindar servicios de banda ancha (transferencia de datos por encima de 256kbps). Algunas aplicaciones de esta tecnología son acceso a Internet a alta velocidad, multimedia, controles remotos, automatización casera y seguridad, entretenimiento, etc.

Esta tecnología utiliza la banda de frecuencia entre 1 y 80MHz y no se han establecido regulaciones con respecto al uso de estas bandas por el momento, sólo se requiere cumplir con los límites de radiación impuestos por las agencias reguladoras. Es importante notar que muchas formas de comunicación, tales como transmisiones de radio y televisión, radio aficionado y bandas ciudadanas, etc., ocupan también esta porción de espectro.

Como ya se mencionó, si bien no existen límites de uso de las bandas de operación para BPL ni en América ni en Europa, sí se dan restricciones para los niveles de radiación de radiofrecuencia de las señales utilizadas por esta tecnología.

En el caso de Europa no existe una regulación unificada al no haberse aprobado ninguna norma sobre la tecnología BPL. El proceso de normalización europeo es lento y complejo. Existe un borrador de mandato de la Comisión Europea al CEN (Comité Europeo para la Estandarización), al CENELEC y al ETSI (Instituto Europeo para la Estandarización de las Telecomunicaciones) para que se establezca una convención al respecto

Mientras tanto, se cuenta con recomendaciones que dan los diferentes organismos:

La ETSI TS 101867 recomienda las condiciones de separación de las bandas de acceso y domésticas: como bandas de acceso establece el espectro de frecuencias entre 1.6 y 10MHz, mientras que para las aplicaciones de uso doméstico, reserva la banda de 10 a 30MHz.

El SC205A de CENELEC está trabajando en la ES59013, que define el espectro de frecuencias a utilizar por las aplicaciones de acceso y por las domésticas, fijando la frecuencia de separación en 13.5MHz en lugar de los 10MHz de la ETSI. Esto ha motivado la creación de un grupo en conjunto CENELEC-ETSI que tiene como objetivo alcanzar un consenso al respecto.

En Alemania existe la norma RegTPNB30 para transmisiones electromagnéticas guiadas por cable (hasta 3GHz), sólo de aplicación nacional. Recientemente se ha aprobado una nueva legislación para el uso comercial de la tecnología PLC. En el Reino Unido, también existe una especificación de ámbito nacional (MTP1570) para emisiones electromagnéticas guiadas por cable de hasta 300 MHz.

Finalmente, la norma de los Estados Unidos de América aplicable al PLC, está dada por la FCC Part 15, y establece unos límites de emisión que son prácticamente el doble de los que se están considerando en la actualidad en Europa. De forma que, centrándose en la frecuencia de 10 MHz, la norma de la FCC exige no superar límites de 70dB(μ V/m) frente a los 30dB(μ V/m) exigidos por la NB30 alemana. En cualquier caso todos estos límites están muy por debajo de los 150dB establecidos como límites para la seguridad humana.

I.5 Conclusiones

La infraestructura eléctrica es la más extensa creada por el hombre en cualquier parte del mundo. Las comunicaciones sobre la red eléctrica han presentado la posibilidad de obtener comunicación en zonas prácticamente inaccesibles para otros métodos.

Si bien por un lado muchos grupos apoyan este tipo de tecnología, existen también detractores cuyo principal argumento radica en que las frecuencias de la señal utilizada crean un efecto tal al viajar sobre los cables de distribución eléctrica que los hace funcionar como antenas creando interferencias que pueden anular la recepción de cualquier señal en la banda de alta frecuencia (HF), afectando servicios como la radioastronomía, emisiones meteorológicas navales, redes de transmisión de datos, sistemas de información de aeropuertos y redes de emergencia de radioaficionados.

La tecnología de transmisión de datos sobre la red eléctrica ha sido implementada y utilizada en muchos países con éxito en la mayoría y en algunos más ha fracasado.

En el caso de México, desde finales de 2004 y a principios de 2005, se intentó establecer esta tecnología en un esfuerzo conjunto por parte de la CFE (Comisión Federal de Electricidad), la compañía privada IUSACELL y el Gobierno Federal de la República, a través de un programa piloto de beneficio social denominado "PLC: Comunicación a la Velocidad de la Luz" llevado a cabo en la comunidad de Jocotitlan, Estado de México. Durante la revisión del avance de este proyecto, en febrero de 2005, el Presidente Vicente Fox, realizó la primera llamada sobre la red eléctrica en lo que va de la realización del proyecto; sin embargo, no se tienen más noticias sobre el avance de este esfuerzo hasta la fecha de término de este trabajo de tesis, aunque se espera que se pueda implementar este programa de beneficio social en un futuro cercano.

Como se ha podido observar, si bien la red de distribución eléctrica es un medio sumamente atractivo para el establecimiento de comunicaciones, no lo es en menor medida complicado, ya que nunca fue planeado para este fin. Por tanto, las comunicaciones que se pretendan establecer deben contar con un sistema lo suficientemente robusto para lidiar con todos los problemas que se presenten. Cada aparato conectado a un contacto significa interferencia y es virtualmente imposible predecir cuántos y cuáles aparatos van a conectarse o no a la red. Los interruptores, los aparatos que utilizan algún tipo de motor eléctrico y las computadoras introducen ruido en forma de pulsos a la línea. Todo lo anterior proporciona un panorama bastante amplio acerca de las dificultades que

se han tenido en el desarrollo de nuevas y mejores tecnologías en el campo de las comunicaciones sobre la red eléctrica.

II. Aspectos Prácticos. Planteamiento del Sistema.

En este capítulo se plantean los medios necesarios para obtener un sistema capaz de transmitir datos sobre la red eléctrica. Se analizan técnicas de modulación y métodos de transmisión para conseguir un buen desempeño del sistema de comunicación.

II.1 Métodos de Modulación

Existen varios esquemas de modulación que pueden ser utilizados para la transmisión digital como lo son por variación de frecuencia (FSK), por variación de amplitud (ASK), por cambio de fase (PSK), por cambio de fase cuaternario (QPSK), entre otros. Estos son los mejores esquemas de modulación debido a que son lo suficientemente robustos para lidiar con las características de gran atenuación de la línea y conservan cierta simpleza de implementación. Ciertamente existen otros métodos de modulación de una mayor complejidad y que permiten alcanzar características de desempeño en cuanto a velocidad e inmunidad al ruido mejores pero quedan fuera del alcance de este trabajo.

II.1.1 Modulación FSK

Es una forma de modulación en frecuencia donde la frecuencia de la portadora varía con la secuencia binaria de entrada (moduladora). Al tiempo que la secuencia de entrada varía en 1 o 0 binario, la frecuencia de la portadora cambia entre dos frecuencias distintas. (Fig. 2.1)

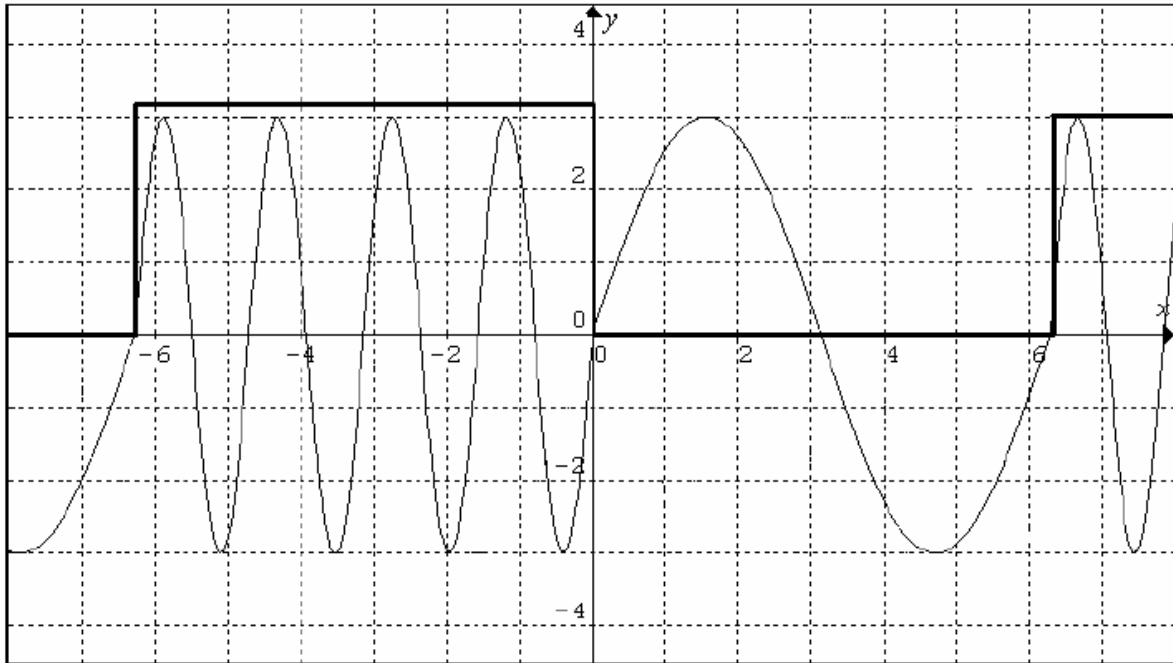


Figura 2.1 Modulación FSK

La expresión general para una señal de FSK binaria es

$$v(t) = V_c \cos \left[\left(\omega_c + \frac{v_m(t) \Delta \omega}{2} \right) t \right]$$

donde $v(t)$ = Forma de onda FSK binaria

V_c = Amplitud pico de portadora sin modular

ω_c = Frecuencia de portadora radial

$v_m(t)$ = Señal moduladora binaria

$\Delta \omega$ = Variación de frecuencia radial de salida

Se observa que la amplitud de onda V_c permanece constante con la modulación, sin embargo, la frecuencia radial de la portadora varía a una razón de $\frac{\pm \Delta \omega}{2}$. Este corrimiento de frecuencia es proporcional a la amplitud y polaridad de la señal binaria de entrada. De esta forma, la velocidad a la que la señal portadora varía de frecuencia es igual a la velocidad de la cadena de bits de la señal binaria de entrada.

II.1.2 Modulación ASK

Consiste en activar o desactivar (conmutar) una portadora senoidal con una señal binaria unipolar.

Cuando una señal ASK está dada por completo en estados de encendido y apagado es llamada OOK (On-Off Keying) (Fig. 2.2)

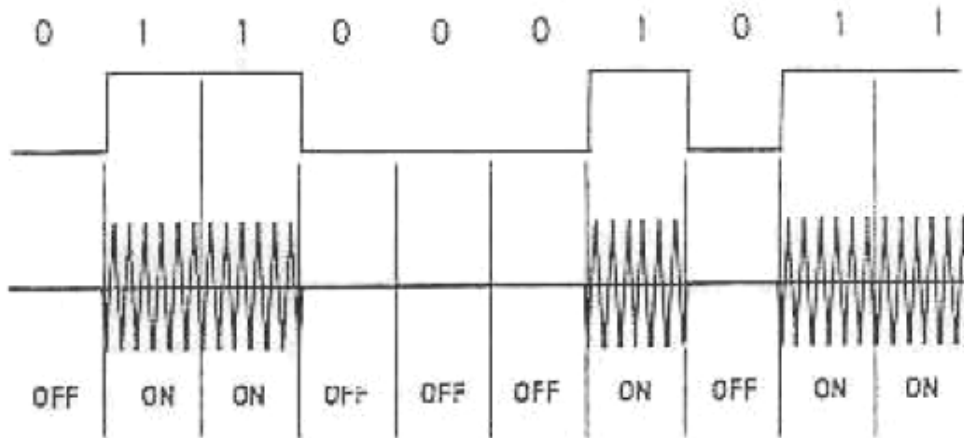


Figura 2.2 Modulación OOK

La señal OOK está representada por

$$s(t) = A_c m(t) \cos \omega_c t$$

Donde $m(t)$ es una señal de datos de bandabase unipolar (secuencia binaria). Por consiguiente, la envolvente compleja para OOK es

$$g(t) = A_c m(t)$$

Y la densidad espectral de potencia de esta envolvente compleja es proporcional a la de la señal unipolar. Esta densidad espectral de potencia es

$$P_g(f) = \frac{A_c^2}{2} \left[\delta(f) + T_b \left(\frac{\sin \pi f T_b}{\pi f T_b} \right)^2 \right]$$

Donde $m(t)$ tiene un valor pico de $\sqrt{2}$ de modo que $s(t)$ tiene una potencia normalizada promedio de $A_c^2/2$.

La solución más simple a utilizar para la recuperación de la señal es un detector o rectificador de amplitud de pico (Fig. 2.3).

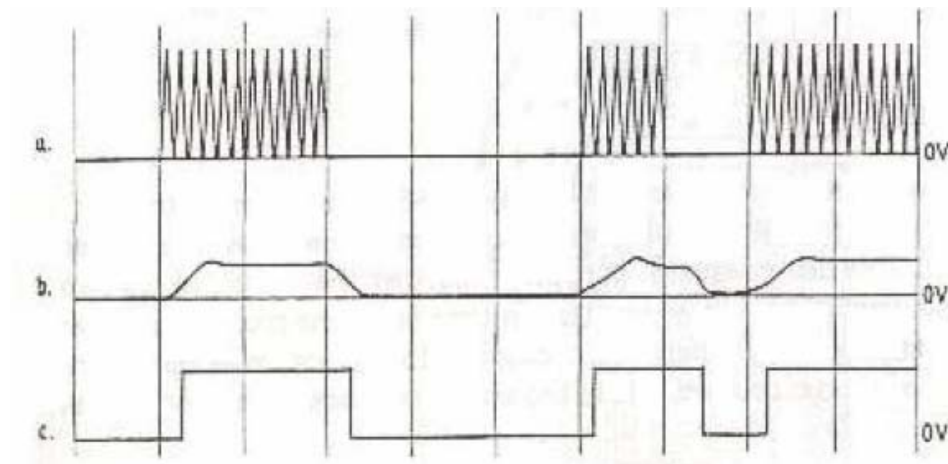


Figura 2.3 Demodulación ASK

El circuito demodulador (Figura 2.4), que es básicamente un detector de picos, es muy simple y de fácil implementación.

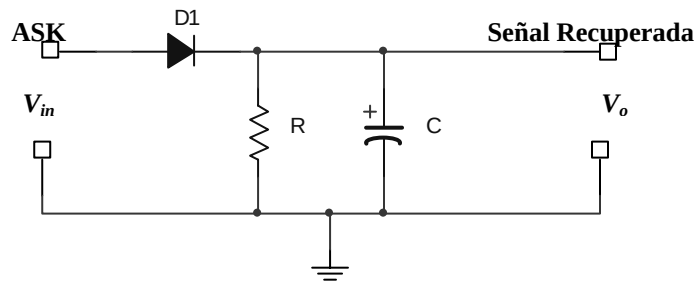


Figura 2.4
Detector de picos

El detector de picos se considera en dos pasos: con el capacitor y sin el capacitor.

En el primer paso el diodo conduce cuando V_{in} sobrepasa V_o . Esto ocurre siempre que V_{in} excede el voltaje de corte del diodo (aproximadamente 0.2 volts para uno de germanio). En el caso de no existir capacitor, la salida del detector consta de los picos positivos de la señal modulada.

Si se anexa el capacitor al circuito se provee un filtrado a la señal demodulada y su valor promedio aumenta incrementando a su vez la eficiencia del demodulador.

El capacitor se carga con el pico positivo del pulso de la portadora mientras el diodo conduce. Cuando V_{in} va por debajo del pico, el capacitor mantiene su carga de forma que V_o excede V_{in} y el diodo deja de conducir. El capacitor debe descargarse lo suficientemente lento a través de la resistencia para alcanzar el siguiente pico que exceda a V_o , permitiendo así al diodo conducir de nuevo y volver a cargar el capacitor. El resultado es que el voltaje de salida seguirá a la señal de entrada moduladora con una pérdida de sólo el voltaje de encendido del diodo. Los restos de ruido de alta frecuencia son suavizados con un simple filtrado adicional.

II.1.3 Modulación PSK

Es una forma de modulación de fase en la que se varía la fase de la portadora en función de una cadena binaria moduladora. Con BPSK (Modulación por Corrimiento de Fase Binaria) se obtienen dos posibles fases de portadora, mientras que la frecuencia permanece constante. Una fase de salida representa un 1 binario y la otra representa un 0 binario. Al tiempo que la señal moduladora cambia de estado (0 ó 1 lógicos), la portadora varía su fase en 180° (Fig. 2.5).

Matemáticamente, una señal de BPSK se representa de la siguiente forma:

$$s(t) = A_c \cos[\omega_c t + D_p m(t)]$$

Donde $m(t)$ es una señal de datos de bandabase polar. Por comodidad se hace que $m(t)$ sea una forma de pulso rectangular con valores pico de ± 1 .

Existen sistemas derivados de PSK diseñados para alcanzar transferencias de datos a velocidades mucho más altas como lo son QPSK (de 4 fases), 8PSK (de 8 fases distintas) y hasta 16PSK (16 variaciones de fase)

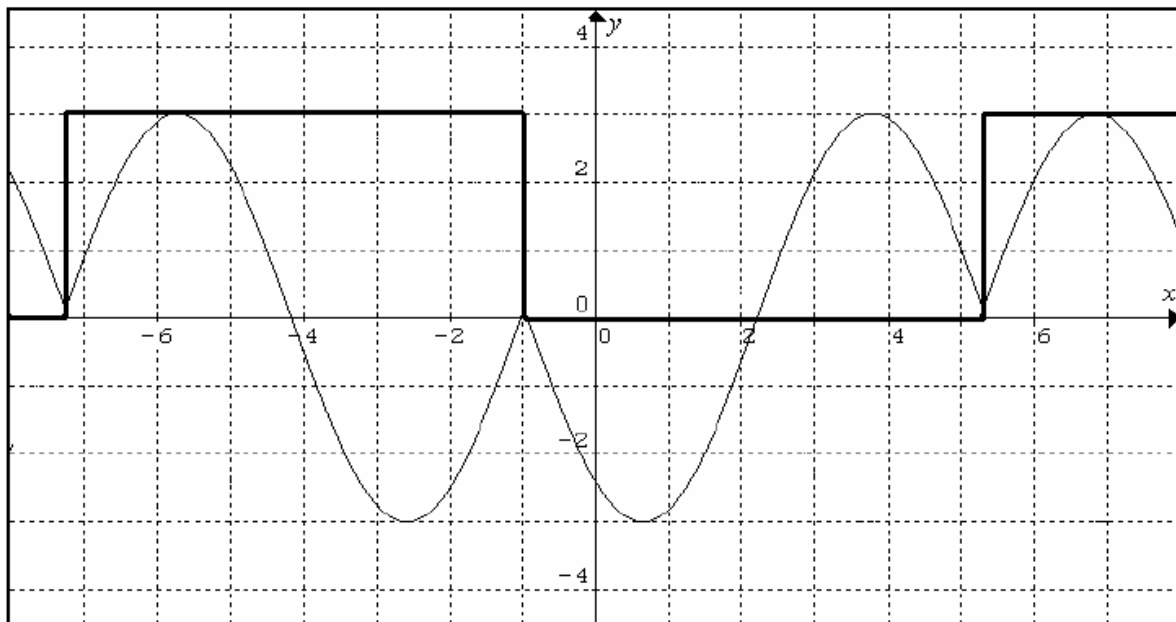


Figura 2.5
Modulación BPSK

La modulación por desplazamiento de fase cuaternaria (QPSK) es una técnica en la cual son posibles cuatro fases de salida para una sola frecuencia de portadora. Debido a que hay cuatro

salidas diferentes posibles deben existir cuatro condiciones de entrada diferentes, por lo que los datos de entrada se codifican en dibits (grupos de dos bits). Cada código dibit genera una de las cuatro fases de salida posibles, de forma que la razón de cambio a la salida es la misma que la razón de bits en la entrada.

De manera consecuente con lo arriba descrito, la modulación 8PSK utiliza 3 bits de codificación para obtener 8 fases distintas posibles de salida, mientras que 16PSK hace posible obtener 16 salidas diferentes mediante un código de entrada de 4 bits.

II.1.4 Conclusión

En la práctica, el desempeño del tipo de modulación ASK mostró ser lo suficientemente robusto para soportar el esquema de transmisión propuesto inicialmente (1200 baudios) e incluso velocidades mayores a pesar de tener una menor inmunidad al ruido con respecto a otros métodos. Es un esquema de modulación de fácil implementación y de un costo muy bajo en comparación con otros métodos de modulación, además de que consume una menor potencia.

Por todo lo anterior, el esquema de modulación seleccionado para el desarrollo del trabajo es el de corrimiento de amplitud (ASK).

II.2 El Acoplamiento con la Red Eléctrica

Uno de los componentes más importantes de un sistema CSRE es sin duda la interfaz del sistema de comunicación con la línea (circuito de acoplamiento). Este no es un reto fácil considerando las características tan hostiles de la red eléctrica. El voltaje, la impedancia cambiante y los disturbios dependientes del tiempo, los circuitos de acoplo deben ser cuidadosamente diseñados para proveer una señal con un buen ancho de banda y el nivel de seguridad requerido por los electrodomésticos y otros aparatos.

Existen varias formas de acoplar la señal con la línea de transmisión. Estas formas se dividen en dos categorías principales:

- *Acoplamiento de Modo Diferencial.* La línea o el *vivo* es usada como una terminal, mientras que el *neutro* es utilizado como otra terminal. En los casos donde no hay un neutro presente (redes de alto voltaje) se utiliza como segunda terminal a la línea de *tierra*.
- *Acoplamiento común.* El vivo de la línea y el neutro se usan juntos como una terminal, mientras que la *tierra* se usa como segunda terminal. Este modo es bastante riesgoso para el usuario debido a los problemas que se presentan en caso de encontrarse con aparatos o dispositivos con protecciones cortocircuitadas a *tierra*.

Existen dos métodos utilizables de acuerdo a su implementación física: el *acoplamiento capacitivo* y el *acoplamiento inductivo*. En el primer caso, se utiliza un capacitor para realizar el acoplamiento con la línea; En el segundo caso, de forma alternativa, se utiliza un inductor para acoplar la señal de información dentro de la red eléctrica. El acoplamiento inductivo también realiza la función de aislamiento entre la red eléctrica y el circuito de comunicación.

El acoplamiento de tipo inductivo es conocido por provocar una pérdida en la potencia de transmisión de varios decibeles, pero es más seguro que el acoplamiento de tipo capacitivo debido a su cualidad de aislamiento. Por otro lado, el acoplamiento capacitivo realiza el filtrado paso altas necesario de una forma sencilla. En la práctica, es común el uso de una combinación de ambas técnicas.

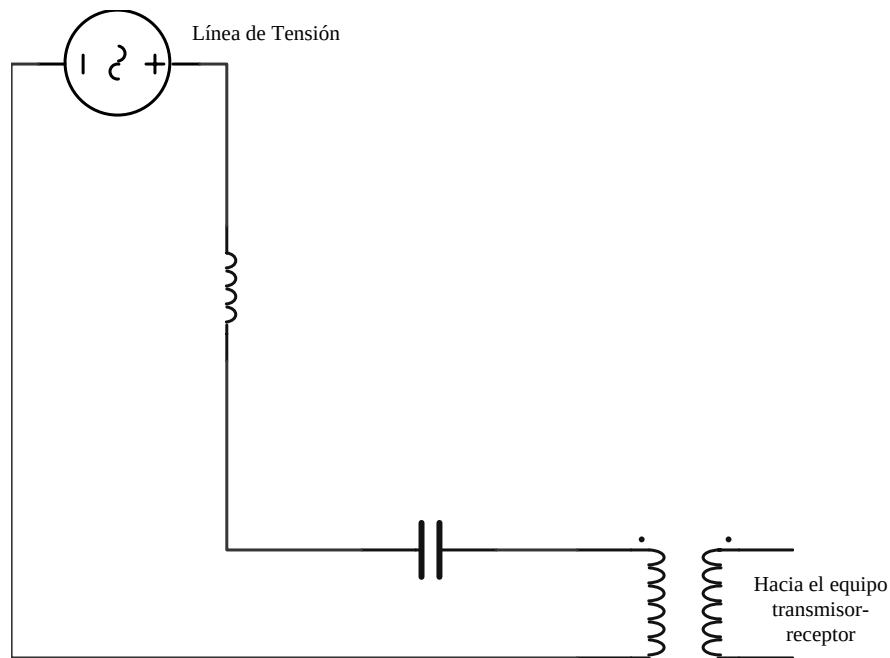


Figura 2.6
Estructura general de un circuito de acoplamiento de tipo inductivo

Es importante considerar que se debe obtener una buena respuesta en frecuencia por parte del circuito acoplador. En la dirección de recepción, es deseable que el dispositivo de acoplamiento posea características paso banda, bloqueando la señal de 60Hz y dejando pasar lo mejor posible la señal de alta frecuencia. En la dirección de transmisión se desea que el acoplador tenga características paso altas, dejando pasar la señal sin atenuación. Deben igualarse impedancias entre la línea y el circuito de acoplamiento para una máxima transferencia de energía.

II.2.1 Componentes del Circuito de Acoplamiento

Para ser capaces de desarrollar un circuito de acoplamiento funcional se deben elegir los componentes adecuados:

- ✦ *Capacitores de Acoplamiento.*- Su uso es extenso en los sistemas CSRE para acoplar la señal a la línea pero también son utilizados como parte esencial de filtros sofisticados. Los requerimientos y características esenciales de estos capacitores han sido estandarizadas en

ANSI C93.1-1972. Los capacitores de acoplamiento portan la señal de comunicación, por lo que deben ser de alta frecuencia, al tiempo que deben filtrar el voltaje de alimentación (señal de 60Hz), por lo que deben soportar el paso de altos voltajes a través de ellos.

- ✦ *Transformadores de Acoplamiento.* - Su función principal es la de proporcionar aislamiento y adaptación de impedancia, pero deben permitir también el paso de la señal de alta frecuencia. Se debe filtrar primero la señal de alto voltaje antes de que pase por el transformador. En la actualidad existen algunos fabricantes como VAC que cuentan con transformadores especiales para sistemas CSRE.



Figura 2.7 Transformadores de Acoplamiento

- ✦ *Inductores.* - Deben ser diseñados para la frecuencia de alimentación de voltaje (para prevenir la saturación) y para la corriente de alimentación (para prevenir caídas de voltaje). Estos inductores deben bloquear la frecuencia de modulación, por lo que sus puntos de resonancia deben estar por encima de esa frecuencia. Los inductores de núcleo de aire son buenos para este cometido.
- ✦ *Resistores.* - Generalmente se evita utilizar resistores en los circuitos de acoplo de los sistemas CSRE para evitar pérdidas de potencia ya sea en la señal de comunicación o en la de alimentación de energía.

II.3 Métodos de Control de Errores

Cuando se transmiten datos binarios en cualquier enlace de comunicaciones, existe siempre la posibilidad de obtener errores, que son cambios en la configuración de bits causados por interferencia, ruido o fallas en el equipo.

De acuerdo a lo anterior se hace patente la necesidad de un mecanismo que permita detectar e incluso corregir errores en los datos recibidos con respecto a los enviados debido a las características hostiles del medio en el cual se desarrolla este trabajo, las cuales se han planteado en capítulos anteriores.

El número de errores de bits que ocurren para un número dado de bits transmitidos se llama razón de errores de bits (BER, bit error rate). Dicha proporción de errores en los bits es la relación del número de errores de bits sobre el número total de bits transmitidos. El índice de BER es un promedio dentro de un número muy grande de bits y para una transmisión dada depende de condiciones específicas (condición del equipo, medio, etc.).

$$BER = \frac{\#errores}{\#bitsTransmitidos}$$

Cuando se usan velocidades de transmisión altas en un ambiente ruidoso, los errores son inevitables. El objetivo principal en la detección y corrección de errores es llevar al mínimo la recepción de errores.

Los métodos de control de errores pueden ser clasificados en dos grupos principales: los que sólo detectan errores y los que son capaces además de corregirlos.

II.3.1 Detección de Errores

La detección de errores es el proceso mediante el cual se monitorean los datos recibidos y se determina cuando un error ha ocurrido. Estos métodos no son capaces de identificar

específicamente qué bit o bits son erróneos, sólo marcan cuando ha ocurrido un error. Estas técnicas son:

- Redundancia. - Es el método más sencillo, y consiste en enviar cada carácter o cada mensaje muchas veces hasta que se recibe de forma correcta. Por ejemplo, un sistema puede especificar que cada carácter se transmita dos veces en sucesión para asegurar una transmisión exitosa. De igual forma pueden tratarse bloques enteros o mensajes.
- Métodos de Codificación. - Otra forma es usar un esquema de codificación como el AMI-RZ, por medio del cual se transmiten “1” binarios sucesivos en la cadena de bits con polaridades alternadas. Si ocurre un error en alguna parte de la secuencia de bits, entonces es muy probable que se transmitan uno o más bits con la misma polaridad a continuación. Si el circuito receptor está ajustado para reconocer estas características, se detecta el bit erróneo y se puede solicitar retransmisión.
- Códigos especiales. - Estos códigos permiten una verificación automática de la precisión (BER) del sistema. Uno de estos es el código ARQ de cuenta exacta, en el cual un código de 7 bits es usado para representar letras del alfabeto, número y otros símbolos. Cada palabra de 7 bits contiene invariablemente tres “1” binarios. Una forma para determinar si un carácter se ha recibido de forma correcta consiste en contar el número de 1 binarios en cada carácter recibido. Si la cuenta es 3, es casi seguro de que el carácter se ha recibido correctamente. En caso contrario se solicita que el transmisor repita el carácter o el bloque completo.
- Paridad. - Es uno de los sistemas de mayor uso en la detección de errores en sistemas asíncronos. Cada carácter transmitido tiene un bit adicional, llamado *bit de paridad*. Dicho bit puede ser un “0” binario o un “1” binario, según el número de “1” o de “0” del carácter mismo.

Se utilizan dos sistemas de paridad, impar y par. *Paridad impar* significa que el número de “1” binarios en el carácter, contando al bit de paridad, es impar. *Paridad par* significa que el número de “1” binarios en el carácter, incluyendo el bit de paridad, es par.

Al método de paridad de carácter individual de detección de error se le llama *verificación de redundancia vertical* (VRC, vertical redundancy check). Para mostrar los caracteres

transmitidos en los sistemas de comunicaciones, los bits se escriben en forma vertical. El bit del fondo es el de paridad, o bit VRC, para cada palabra vertical.

La verificación de paridad es útil sólo en la detección de errores de un sólo bit. Si ocurren dos o más errores en un mismo carácter o bloque, el circuito de paridad no dará una indicación correcta.

- Carácter de Verificación de un Bloque.- La verificación de redundancia horizontal (HRC, horizontal o longitudinal redundancy check) es el proceso de sumar de manera lógica, mediante una compuerta OR exclusiva, todos los caracteres de un bloque específico de datos transmitidos. Para sumar los caracteres, el bit de arriba de la primera palabra vertical. se pasa por una OR exclusiva con el bit de arriba de la tercera palabra, y así en forma sucesiva hasta que se han sumado todos los bits de una línea horizontal particular. No hay transferencia a la siguiente posición de bit. El valor del bit final para cada línea horizontal se convierte en el bit de un carácter de verificación del bloque (BCC, block-check char) o secuencia de verificación del bloque (BCS, block-check sequence). A cada línea de bits se le hace lo mismo para producir la BCC.
- Verificación de Redundancia Cíclica (CRC, cyclic redundancy check).- Es una técnica matemática usada en transmisión de datos síncronos que detecta efectivamente 99.9% o más de errores de transmisión. Este proceso matemático es esencialmente una división. La hilera entera de bits en un bloque de datos se considera como un número binario gigante que se divide entre alguna constante preseleccionada. CRC se expresa por la ecuación

$$\frac{M(x)}{G(x)} = Q(x) + R(x)$$

Donde $M(x)$ es el bloque de datos binarios llamado función de mensaje, y $G(x)$ es la función generadora. Esta última es un código especial que se divide en la hilera del mensaje binario. El resultado de la división es una función cociente $Q(x)$ y una función residuo $R(x)$. El cociente resultante de la división se ignora; el residuo se denomina carácter CRC y se transmite junto con los datos. El mensaje y la función generadora por lo general se expresan como un polinomio algebraico.

El proceso matemático de CRC puede programarse en una computadora o puede calcularse por medio de un circuito especial de hardware CRC que consiste en varios registros de corrimiento dentro de los cuales se han insertado compuertas XOR en puntos específicos. Los datos que se verificarán se alimentan en serie en los registros. No hay información de salida, ya que esta no se retiene. La información sólo se recorre un bit hacia adentro a la vez; cuando se ha transmitido toda la información, el contenido será el remanente de la división, o la secuencia CRC deseada. Como en total se utilizan 16 flip-flops en el registro de corrimiento, la CRC es de 16 bits de largo y se puede transmitir como 2 bytes secuenciales. Como la CRC se emplea en la transmisión de datos síncronos, no hay bits de inicio ni de paro.

En el extremo receptor, la CRC se calcula con la computadora receptora y compara con la secuencia CRC recibida. Si los dos son iguales, el mensaje se recibe en forma correcta. Cualquier diferencia indica un error que dispara la retransmisión o alguna otra acción de corrección. Este es el método de mayor uso en sistemas síncronos.

II.3.2 Corrección de errores

Los métodos de corrección de errores no sólo son capaces de detectar errores, sino que pueden corregirlos. Se ha diseñado un número de esquemas de corrección de errores para complementar los métodos de paridad y BCC ya descritos. Los más utilizados entre estos métodos son:

- *Retransmisión.*- Cuando un error es detectado por cualquiera de los mecanismos de detección de errores descritos arriba, se inicia la retransmisión del carácter o del bloque de información completo. Es la forma más sencilla de corrección de errores, sin embargo, exige mucho tiempo y es antieconómico.
- Código de Hamming.- Es una forma de corrección de error adelantada (FEC, forward error correction), plantea que si se añaden bits extra a una palabra transmitida, estos bits podrían procesarse de tal manera que se pudieran identificar errores de bits y corregirse. Estos bits extra, como algunos tipos de bits de paridad, se llaman bits de Hamming y juntos forman un código de Hamming. Para determinar con exactitud dónde está el error,

debe agregarse un número suficiente de bits. El mínimo número de bits Hamming se calcula de la siguiente forma:

$$2^n \geq m + n + 1$$

donde m = número de bits en la palabra de datos

n = número de bits en el código Hamming

Se podría decir que los códigos Hamming son una forma más sofisticada del sistema de paridad, donde los bits de Hamming son bits de paridad derivados de algunos, pero no de todos los bits de datos. Cada bit de Hamming se deriva de grupos diferentes de los bits de datos.

En el transmisor se usa un circuito para determinar los bits de Hamming. Esto se hace expresando primero las posiciones del bit en la palabra de datos que contienen "1" binarios. A continuación, la circuitería del transmisor suma en forma lógica estos códigos.

Esta suma final son los bits de código de Hamming de izquierda a derecha. El método de Hamming no funciona cuando el bit de error es el mismo bit de Hamming. En el caso de que ocurran 2 o más errores, deberán añadirse más bits de Hamming. Esto incrementa el tiempo total de transmisión, necesidades de almacenamiento en el transmisor y receptor y la complejidad del circuito, pero son mucho más confiables los datos recibidos.

II.4 Protocolos

Al incrementarse las opciones y la inteligencia en la comunicación de datos, la tecnología demandó nuevas reglas y procedimientos para una operación eficiente del sistema. En consecuencia, los proveedores de los equipos crearon controles de comunicación o protocolos. Los protocolos pueden gobernar líneas, tipos de servicios, modos de operación, compatibilidad de circuitos o redes enteras. Este último punto es análogo al uso de reglas de tráfico para controlar su flujo de manera eficiente en la red.

Los protocolos se emplean para identificar el inicio y el final de un mensaje e identificar al que envía y al que recibe, fijar el número de bytes que se transmitirán, fijar el método de detección de errores, etc. En comunicaciones de datos se utilizan varios niveles de protocolos.

La forma más sencilla de protocolo es la transmisión asíncrona de datos con un bit de inicio y otro de paro, enmarcando un sólo carácter, con un bit de paridad (opcional) entre el bit del carácter y el bit de paro. En comunicaciones síncronas, la unidad básica de transmisión es el *bloque*.

Para identificar un bloque, se transmiten uno o más caracteres especiales antes del bloque y después de éste, que son por lo general códigos de 7 u 8 bits. Aparte de señalar el bloque, estos caracteres se usan para la detección y verificación de errores.

Existen un gran número de protocolos, tanto para comunicaciones síncronas como asíncronas, algunos más populares que otros, como es el caso de Xmodem, Kermit, MPN, Bisync, SDLC, etc.

II.5 Conclusiones

Como ya se mencionó, obedeciendo a las características planteadas para este trabajo, el esquema de modulación seleccionado ha sido el de ASK, por su simplicidad y robustez. Es presumible que con este método se podrá alcanzar sin problemas la meta de velocidad de transmisión de datos planteada como objetivo inicial e incluso superarse.

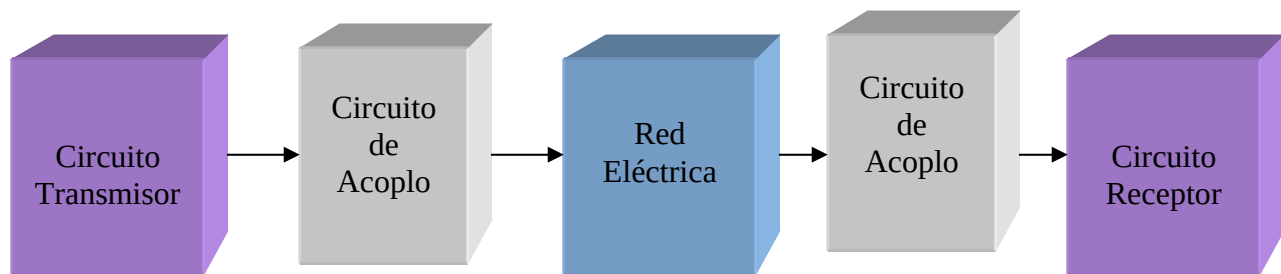
El circuito de acoplamiento a utilizar es del tipo inductivo debido principalmente a razones de seguridad dadas sus características de aislamiento, a pesar de que es todo un reto lidiar con la atenuación a que se ve sujeta la señal.

En este trabajo no se emplea ninguno de los protocolos ya existentes, ya que el desarrollo e implementación del protocolo de comunicación entre dispositivos que se plantea en los objetivos, corresponde a las necesidades particulares del trabajo. La descripción del sistema de prevención y detección de errores se incluye en el desarrollo del protocolo, el cual se detalla en la sección III.5 de este trabajo.

III. Diseño, Desarrollo e Implementación del Sistema.

En este capítulo se plantea un sistema funcional de Transmisión de Datos Sobre la Red Eléctrica desde su diseño hasta su implementación práctica, detallando los componentes utilizados en cada sección, así como su funcionamiento dentro del sistema. Todo lo anterior ha sido desarrollado en base a los aspectos y recomendaciones planteados en los capítulos anteriores para alcanzar e incluso superar los objetivos descritos inicialmente para este trabajo.

El sistema de CSRE básicamente se estructura de la siguiente forma:



A continuación se explican de forma detallada cada una de las partes del sistema.

III.1 La Etapa de Transmisión

Como se mencionó anteriormente, se planteó en un inicio un sistema de transmisión de datos que utilizara FSK como esquema de modulación utilizando un circuito integrado generador de funciones monolítico, XR2206 de EXAR. Sin embargo, se presentaron una serie de problemas en el desarrollo de esta opción, entre las cuales una de las principales fue el costo relativamente alto de los componentes tanto de transmisión como de recepción, además de que las frecuencias de operación del dispositivo utilizado no fueron lo suficientemente altas para ser insertadas en la red eléctrica satisfactoriamente.

De esta forma, se seleccionó el método de ASK para la transmisión de datos sobre la red eléctrica. Esto resultó ser muy ventajoso, ya que el circuito modulador de ASK es más simple y de mucho menor costo.

La manera más simple y eficaz de modulación por amplitud para este trabajo es la forma OOK. El circuito modulador consiste simplemente en uno que realice la operación lógica AND, de forma que se detecta la ausencia o presencia de pulso de moduladora.

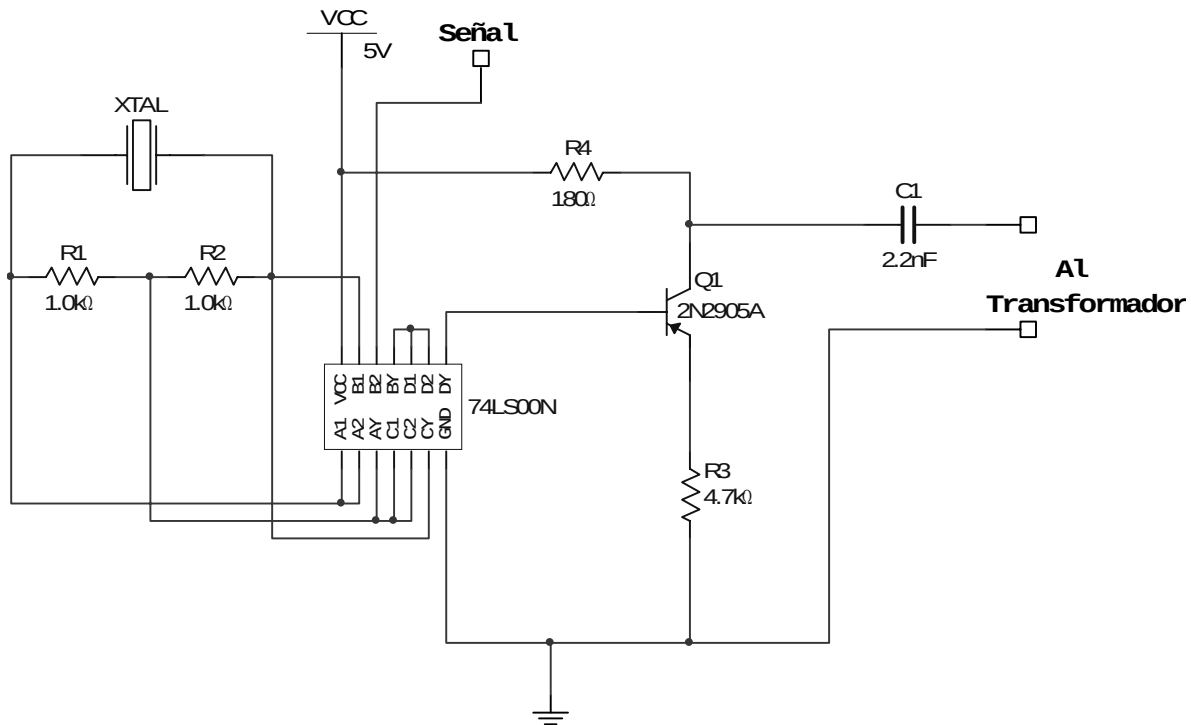


Figura 3.1
Circuito Transmisor

El circuito integrado 74LS00 (NAND de 4 compuertas) es utilizado para el circuito de reloj, que ocupa 3 de las 4 compuertas y, al mismo tiempo, se aprovecha la compuerta restante para realizar la modulación ASK de la señal, llevando a cabo la operación lógica NAND con la señal de portadora obtenida con el circuito de reloj y con los pulsos de moduladora proveniente de la UART del microcontrolador AT90S8535 o AVR de ATMEL.

El circuito de reloj proporciona una señal cuadrada de portadora con una frecuencia de 4MHz, mientras que la señal emitida por el AVR corresponde a una tasa de transferencia de datos de 9600 baudios. A este respecto, cabe mencionar que, si bien se había planteado en un comienzo de este trabajo una meta de 1200 baudios como tasa de transferencia, durante las pruebas se obtuvieron buenos resultados a velocidades mayores, sin embargo, se decidió fijar la transmisión de datos en una velocidad intermedia (bastante buena, por cierto), la cual es de 9600 baudios.

A la salida de la compuerta lógica se obtiene una señal OOK negada. En las primeras pruebas, la señal fue introducida en la línea eléctrica tal cual es obtenida a la salida de la compuerta lógica, sin embargo, debido a que la atenuación que sufre al entrar en la red eléctrica es demasiado grande, se decidió incorporar al diseño un transistor de conmutación rápida, 2N2905A, para proporcionar una corriente mayor a la señal modulada. Este transistor funciona también como inversor de la señal, obteniéndose así la señal afirmada. El capacitor C1 fue colocado para acoplar impedancias con el transformador para lograr de esta forma una máxima transferencia de potencia de la señal.

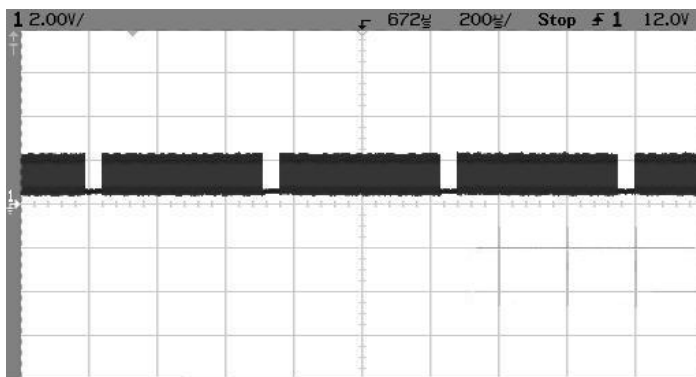


Figura 3.2
Señal modulada constituida por una
cadena binaria de únicamente “1”
lógicos

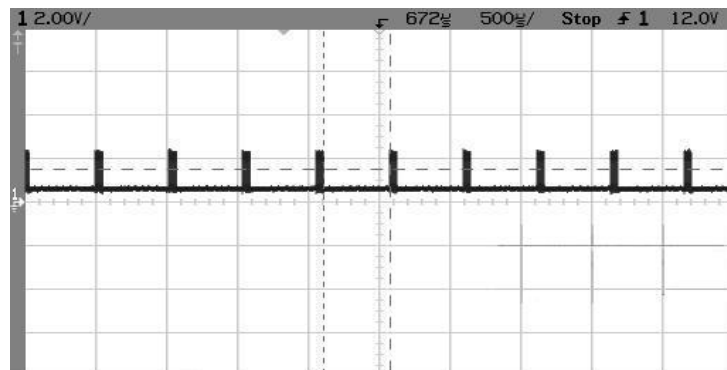


Figura 3.3
Señal modulada constituida por una
cadena binaria de únicamente “0”
lógicos

En las figuras 3.2 y 3.3 se visualizan las imágenes de la señal binaria formada por “1” y “0” lógicos de información, respectivamente. Este es el aspecto de la señal emitida por el microcontrolador ya modulada en amplitud. En el caso de la figura 3.2, se observa una ausencia de voltaje solamente en lo que corresponde al bit de inicio de la cadena binaria, mientras que por lo que respecta a la figura 3.3, solamente notamos un nivel de voltaje en lo correspondiente al bit de paro de la cadena binaria. Es importante recordar que, a pesar de que cada bit como el que se aprecia en la figura 3.3, corresponde a una cadena binaria con una tasa de transferencia de 9600 bits por segundo, en

realidad lo que se tiene es una señal cuadrada de alta frecuencia (4MHz) contenida en cada bit de información con el fin de insertarse en la red eléctrica con mayor eficiencia.

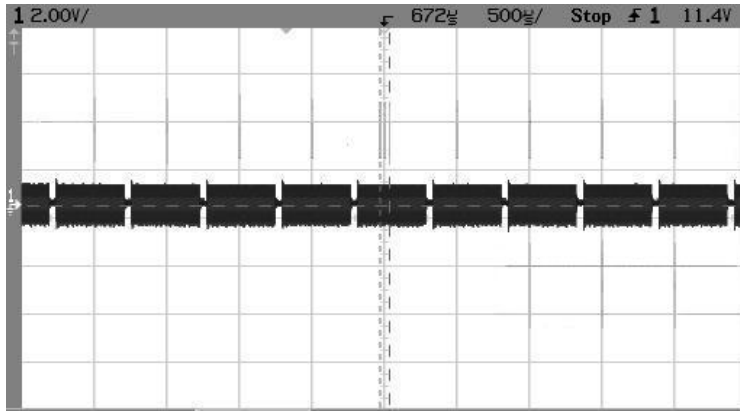


Figura 3.4
Señal acoplada constituida por una
cadena binaria de únicamente "0"
lógicos

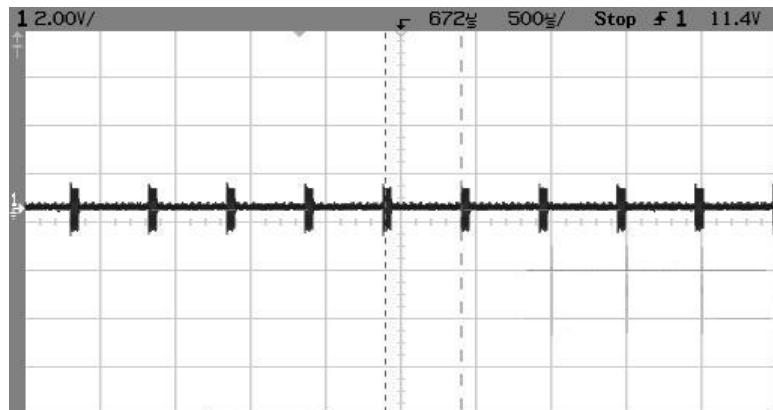


Figura 3.5
Señal acoplada constituida por una
cadena binaria de únicamente "0"
lógicos

En la figura 3.4 y 3.5, se muestra el aspecto de la señal de información lista para ser insertada en la red eléctrica. Debido al acoplo de impedancias, la señal ha perdido su componente de *cd*, convirtiéndose en una señal de alterna.

III.2 El Circuito de Acoplamiento

El circuito de acoplamiento con la red eléctrica es una parte crítica dentro del sistema, y su elemento más determinante es, sin duda, el transformador.

Como se explicó anteriormente, se eligió el circuito de acoplo de tipo inductivo por razones de aislamiento con la red eléctrica. Sin embargo, la atenuación de la señal que se obtiene por este medio es muy grande, por lo que la obtención de un diseño que brindara condiciones aceptables de transmisión y recepción fue bastante difícil.

El elemento que determina el desempeño del circuito de acoplamiento es el transformador. Se pensó inicialmente en construir un transformador a mano, pero se descartó la idea debido a que podría producir resultados adversos en la señal algún error en la manufactura del mismo.

Entonces, tomando en cuenta las frecuencias de portadora del sistema (mayores a 1 Mhz) se decidió probar con transformadores diseñados para tarjetas de red. Tras varios procesos de prueba y error en los que se probó con distintos transformadores y capacitores de acoplamiento comparando la señal obtenida con respecto a la de entrada, se obtuvo un resultado satisfactorio.

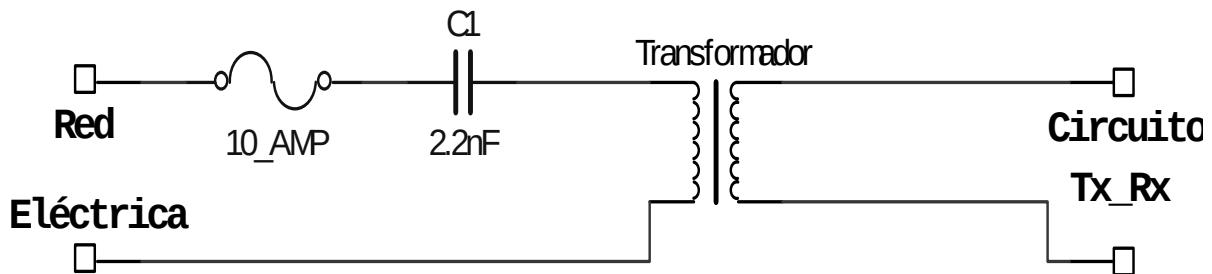


Figura 3.6
Circuito de Acoplamiento

El transformador seleccionado para el sistema, tanto en el circuito de transmisión como en el de recepción, es del fabricante VALOR PT4003, con una relación de transformación 1:1. La hoja de especificaciones para este componente no fue encontrada ni en la página de Internet del fabricante

ni en algún otro sitio, sin embargo, se anexan las especificaciones de un modelo similar de otro fabricante en el Apéndice C.

Por el lado transmisor del sistema, la entrada al circuito de acoplamiento de la señal se realiza a través de un capacitor de 2.2nF que acopla la señal de salida del transistor 2N2905A con la impedancia del transformador. La señal entra al devanado primario del transformador y se induce al secundario aislando de esta forma al circuito transmisor de la red eléctrica; entonces, mediante el capacitor de salida de 2.2nF, se inserta la señal modulada sobre la onda senoidal de 127V A 60Hz.

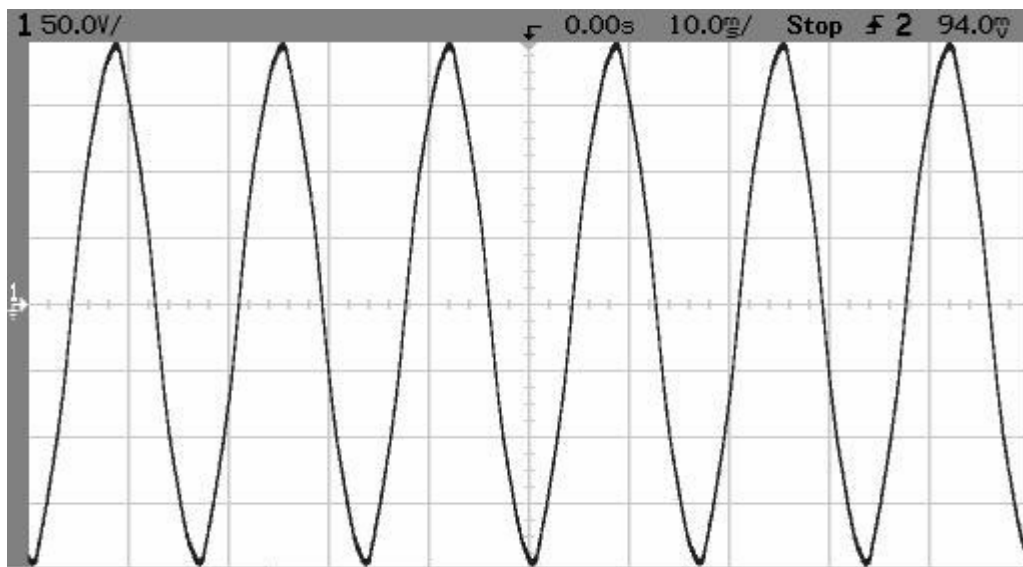


Figura 3.7
Señal modulada y montada sobre la onda senoidal de 60Hz

Como se puede observar en la figura 3.7, a pesar de haber sido insertada la señal modulada de alta frecuencia sobre la onda de energía eléctrica, no se presenta una distorsión visible de la misma.

En la recepción, la señal se toma de la línea de tensión por medio de un capacitor de 2.2nF, el cual, en conjunción con un devanado del transformador, bloquea la baja frecuencia (60Hz) de la senoidal y permite el paso de la señal modulada de alta frecuencia (4MHz). Esta señal se induce al otro devanado del transformador y, al igual que en el lado transmisor, se acopla la señal hacia el circuito receptor mediante un capacitor de 2.2nF.

Al haber obtenido un diseño de circuito de acoplamiento satisfactorio, se procedió a insertar la señal de información ASK en la red eléctrica. Se visualizó en el osciloscopio la señal obtenida sobre la línea de tensión y, al ser de una amplitud aceptable, se procedió a mover el transmisor por diferentes puntos del edificio L-3. Si bien la señal obtenida era de mucho mejor calidad, se constató una vez más el gran problema de atenuación que sufre la señal en el ambiente de la red eléctrica.

III.3 La Etapa de Recepción

La etapa más crítica en el desarrollo de este trabajo fue sin duda la obtención de un circuito receptor lo suficientemente robusto para recuperar la señal original después de haber sido tan afectada por la atenuación de la red eléctrica.

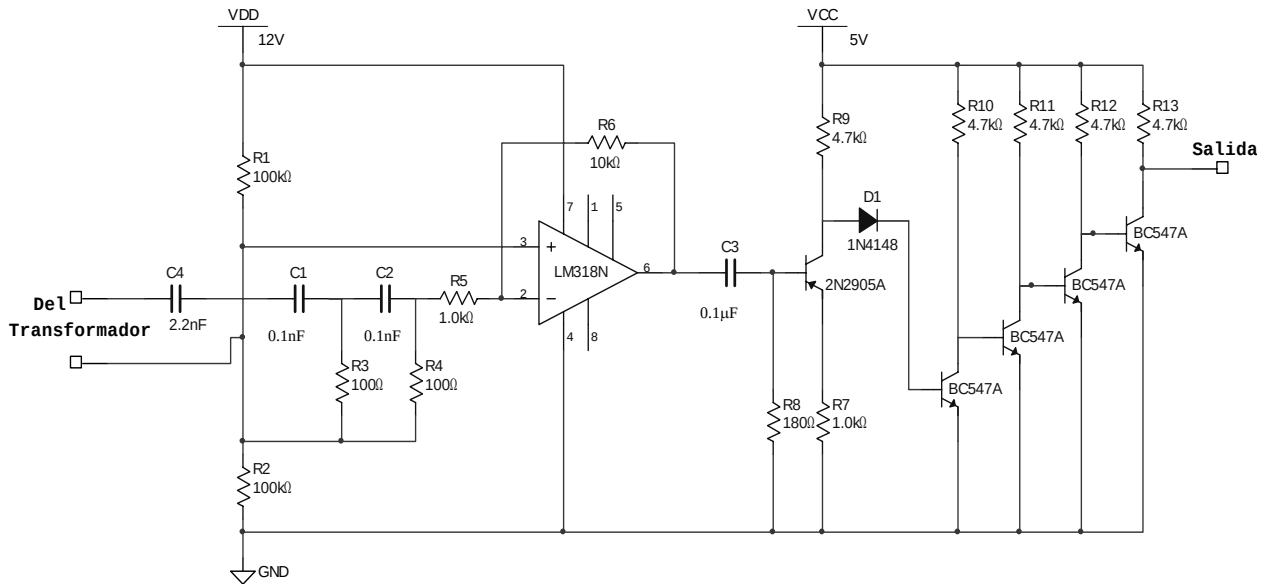


Figura 3.8 Circuito Receptor

En la figura se presenta el diagrama del circuito de la etapa de recepción del módem. El capacitor de entrada, C4, es de suma importancia, ya que sirve de acoplamiento entre el transformador del circuito de acoplo y el circuito de recepción.

Debido a la grave atenuación que sufren las señales de alta frecuencia al viajar por la red eléctrica, la amplitud de la señal disminuye conforme aumenta la distancia del receptor con respecto al transmisor, por lo cual se necesitó implementar una etapa de amplificación antes de la recuperación de la señal moduladora. El dispositivo que realiza dicha tarea es un amplificador operacional de alta velocidad de National, el LM318N.

Este amplificador operacional debe ser polarizado con un voltaje negativo y un voltaje positivo en los pines 4 y 7, respectivamente para su correcto funcionamiento. Sin embargo, considerando que uno de los objetivos primordiales planteados para el desarrollo de este trabajo fue el de la optimización de recursos, se buscó una alternativa a la necesidad de una fuente con suministro

negativo de voltaje, de forma que se creó una tierra virtual sólo para el correcto funcionamiento del amplificador operacional. Este efecto se logra con un divisor de tensión proporcionado por las resistencias R1 y R2, ambas de $100\text{K}\Omega$.

Dichas resistencias se conectan en serie entre 12volts (V_{DD}) y 0volts (GND), obteniéndose de esta forma 6volts en el nodo de unión entre R1 y R2. Este nodo de 6volts se utiliza como referencia o tierra virtual para el LM318N, V_{DD} se considera como +6volts y GND se convierte en -6volts.

Con la finalidad de fortalecer el desempeño del sistema ante el ruido de baja frecuencia proveniente de distintas fuentes conectadas a la red eléctrica, se configuró al amplificador operacional como un filtro activo paso altas de segundo orden. De esta forma, la señal es limpiada de manera considerable del ruido de baja frecuencia, al tiempo que es amplificada e invertida.

El LM318N entrega la señal de ASK amplificada y filtrada. Dicha señal, pese a haber sido amplificada, es de una potencia muy baja, por lo cual se utiliza, al igual que en el circuito transmisor, un transistor de conmutación rápida, 2N2905A. Este transistor brinda potencia a la señal y la afirma.

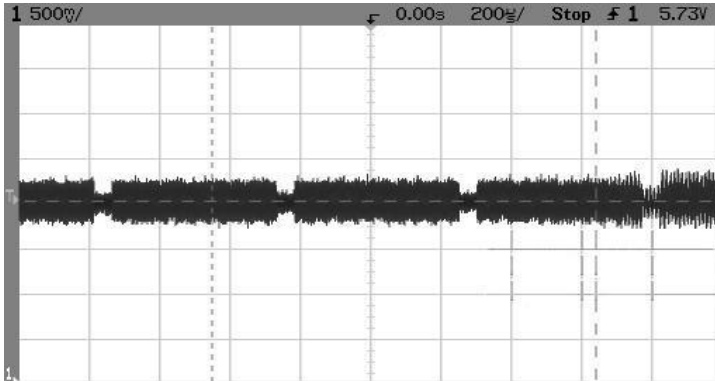
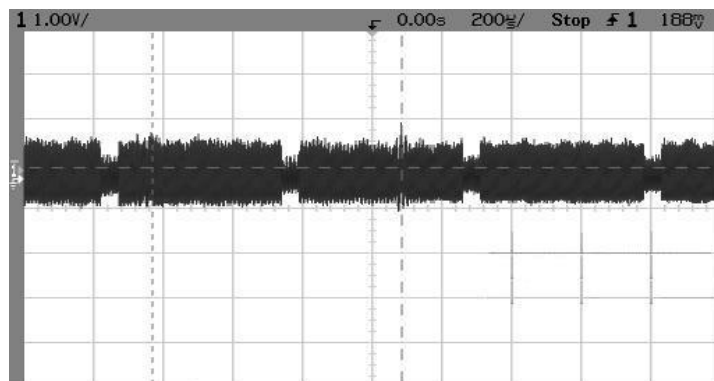


Figura 3.9 Señal recuperada de la red eléctrica después del circuito de acoplamiento

Figura 3.10 Señal amplificada por el LM318N



En la figura 3.9 se tiene una vista en el osciloscopio de la señal de ASK tomada a la entrada del circuito receptor. Es claramente apreciable la acción de las características de la red eléctrica, ya que la señal se encuentra atenuada a alrededor de 300 milivolts de amplitud. Por otro lado, en la figura 3.10 vemos la señal a la salida del LM318N, la cual se encuentra amplificada hasta unos 1.5 volts, con lo cual es suficiente para recuperar la señal original.

El modelo de detector de picos convencional fue sustituido por tan sólo un diodo 1N4148 que recorta la señal ASK, eliminando la parte negativa y, en conjunción con el arreglo de transistores BC547A, regenera la cadena binaria de información emitida por el transmisor.

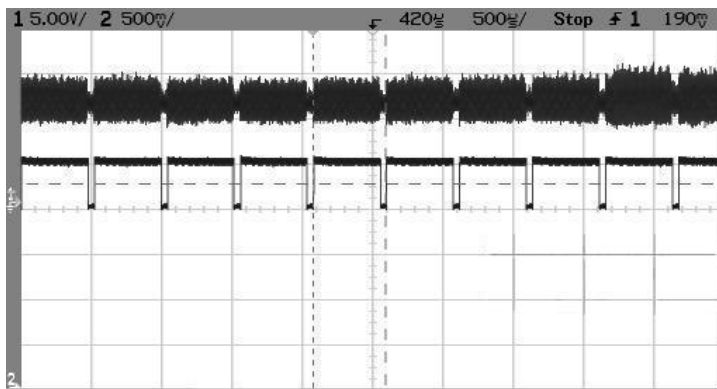


Figura 3.11 Señal recuperada constituida por sólo “1” lógicos

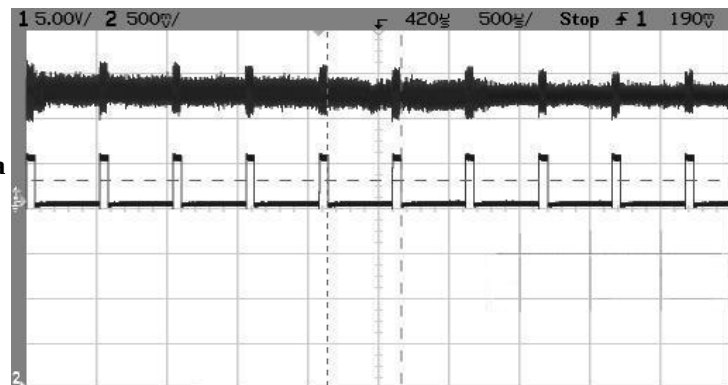


Figura 3.12 Señal recuperada constituida por sólo “0” lógicos

En las figuras anteriores se observa la señal que se obtiene a la salida del circuito receptor con respecto a la que se recupera de la red eléctrica a través del circuito de acoplamiento. Como se aprecia en la figura 3.11, la señal se constituye por cadenas binarias de “1” lógicos con un sólo bit en estado bajo (“0” binario) correspondiente al *bit de inicio* de cada cadena. De forma análoga

podemos observar la figura 3.12, en la cual las cadenas de bits se forman por estados bajos y sólo hay un bit en estado alto que corresponde al *bit de paro*.

La señal recuperada está lista para ser enviada al microcontrolador AT90S8535 y ser procesada por este dispositivo.

Las razones por las cuales fue elegido precisamente este microcontrolador entre las distintas opciones existentes en el mercado para realizar las pruebas del sistema fueron, en primer lugar, la versatilidad tanto de desempeño como de lenguaje de los microcontroladores del fabricante ATMEL, los cuales tuvimos la oportunidad de comprobar en experimentos anteriores a este trabajo. Por otro lado, las características que posee el AT90S8535 como su convertidor analógico digital y el hecho de que se contaba con un par de estas unidades lo hicieron definitivamente la opción más viable.

La recepción y validación de datos en el microcontrolador se realiza de la siguiente manera:

La lógica de entrada al receptor del dispositivo muestrea la señal a una frecuencia de 16 veces la velocidad de transmisión de datos. Cuando la línea está desocupada, la primera detección de un “0” lógico será interpretada como el flanco de bajada de un *bit de inicio*, iniciándose de esta forma la secuencia de detección de *bit de inicio*. Siguiendo la transición de “1” a “0”, el receptor muestrea el pin de recepción tres veces consecutivas, de manera más específica, esto es en las muestras 8,9 y 10. Si dos o más de estas tres muestras son “1” lógicos, el supuesto *bit de inicio* es rechazado como ruido y el receptor comienza a buscar por la siguiente transición de “1” a “0”.

En el caso de que un *bit de inicio* válido sea detectado, se lleva a cabo el muestreo de los bits de datos consecutivos a dicho bit. Estos bits también son muestreados a 16 veces la velocidad de transferencia de datos en las muestras 8,9 y 10. El valor lógico encontrado en al menos dos de estas tres muestras es tomado como el valor del bit.

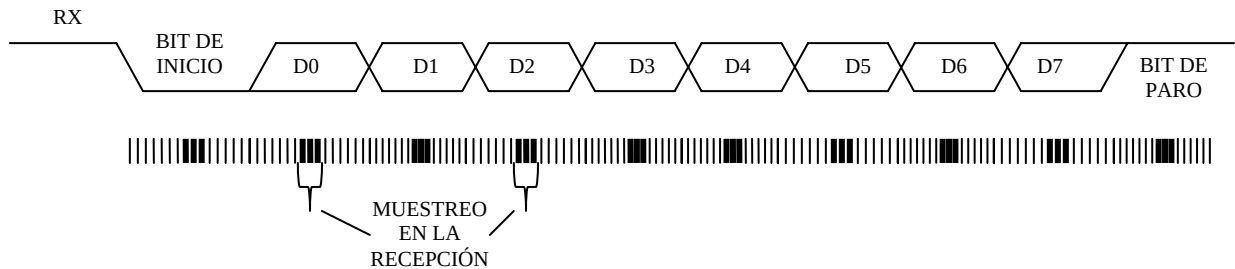


Figura 3.13 Muestreo de los datos recibidos

Lo anterior sucede de igual forma en los bits D0 a D7. Cuando el siguiente bit (*bit de paro*) entra al pin receptor, nuevamente, la mayoría de las tres muestras (8, 9 y 10) debe coincidir esta vez en “1” lógico para aceptar el bit como válido. Si dos o más muestras de este bit son “0” lógicos, se activa una *bandera de error* de trama en el registro de estado del microcontrolador. Esta bandera siempre debe ser revisada para asegurarse de que no existan errores de recepción en los datos. Este error puede ser causado por alguna interferencia o ruido, sin embargo, cabe resaltar que los datos son enviados de cualquier forma al registro de datos del dispositivo para esperar a ser leídos.

III.4 La Fuente de Alimentación

Es indispensable contar con una fuente de energía que proporcione de manera eficiente un voltaje de alimentación para el funcionamiento adecuado del sistema. En este caso, no es muy difícil proveer de energía al circuito, ya que esta puede ser tomada de la red eléctrica misma.

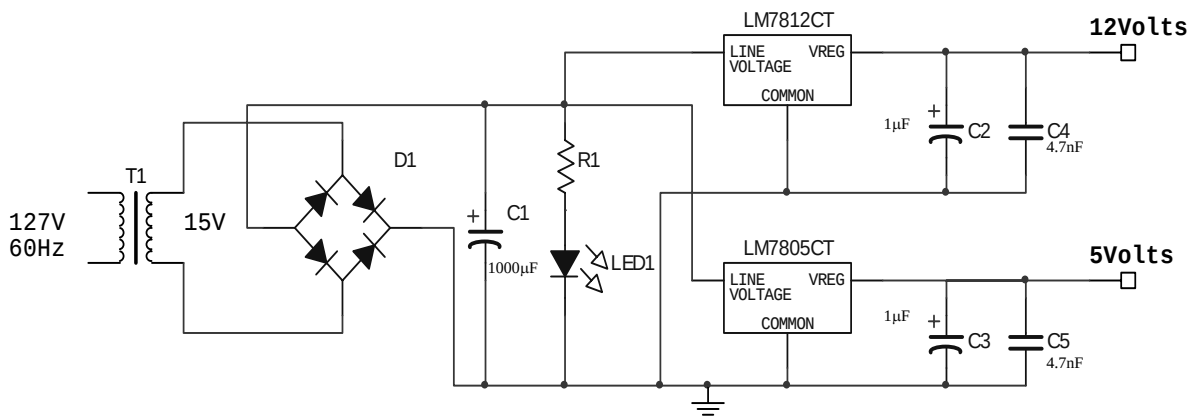


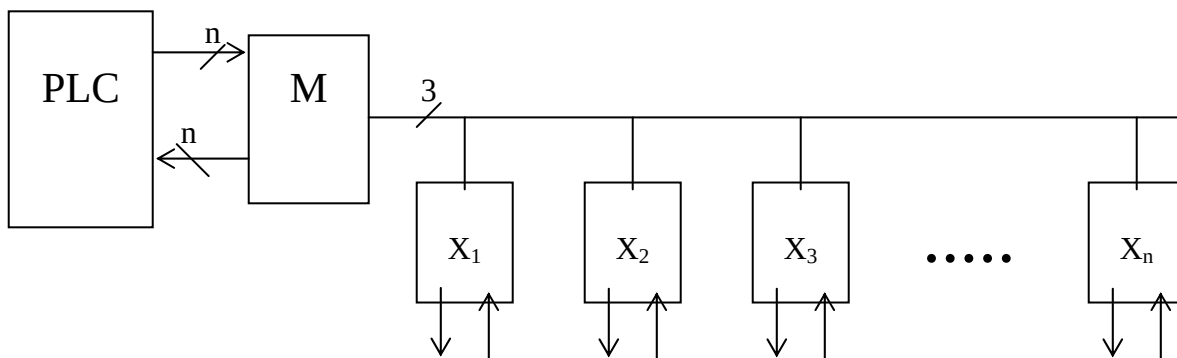
Figura 3.14
Circuito de Alimentación

Como se puede observar, el diseño de la fuente de alimentación es muy sencillo; consta de una salida de alimentación de 5 voltios y otra de 12 voltios proporcionadas por los reguladores de voltaje LM7805CT y LM7812CT, respectivamente.

III.5 El Programa. Sistema MX.

Esta sección tiene como objetivo describir la estructura y funcionamiento del programa que aparece en el Apéndice B.2.

El programa está desarrollado en lenguaje ensamblador sobre la plataforma AVR Studio4 de Atmel. El sistema utiliza la UART (Transmisor-Receptor Universal Asíncrono), la cual funciona como base de una interfaz estándar RS-232. Con el fin de proceder a la explicación del programa, primero se explicarán las características más importantes del Sistema de Extensión de Entradas y Salidas para PLC (Sistema MX).



**FIG. 3.15 Representación
esquemática del Sistema MX**

En la figura 3.14 se muestra un esquema general del sistema; las salidas del PLC se conectan a un controlador principal al que llamaremos de ahora en adelante "M", el cual se encargará de censar, evaluar y procesar las señales en cada uno de los pines de salida del PLC y poder enviar esta información a través de la línea de comunicación codificada en una *trama emitida* (Fig. 3.15) hacia el o los microcontroladores llamados secundarios o "X".

Rx	INICIO	IDRx	IDTx	INFO	INFO	FIN
	R18	R19	R20	R21	R22	R23

(a) Trama recibida

Tx	INICIO	IDRx	IDTx	INFO	INFO	FIN
	R24	R25	R26	R27	R28	R29

(b) Trama enviada

FIG. 3.16
Tramas del Sistema MX

Dichos microcontroladores adquieren la trama que envió M como una *trama recibida* para procesarla y determinar qué acciones tomar con respecto a sus salidas que se encuentran conectadas a los *elementos finales* (válvulas, actuadores, etc.) del sistema. La descripción del programa es como sigue:

Al inicio, todos los pines disponibles de los puertos de cada microcontrolador, ya sea un M o un X, se configuran como entradas de alta impedancia, y son censadas constantemente con el fin de determinar si el PLC necesita actualizar un determinado pin ya sea a entrada o a salida.

De esta forma tenemos que todas las salidas del PLC serán correspondidas en M como entradas y serán configuradas como salidas en X, en sus pines respectivos; todas las entradas del PLC serán salidas en M, mientras que en X vuelven a ser entradas.

Por lo que respecta al arbitraje de la transmisión y recepción de datos, es el siguiente:

Supongamos que se tienen conectados a M con tres X; en este caso, M transmite para el primero; al terminar de recibir la trama, se identifica para qué dispositivo fue enviada (cada microcontrolador tiene una identidad). Al ser para el primero, los demás van a esperar una nueva trama, mientras que el primero procesa y actualiza los datos en sus pines. Ahora M censa los pines correspondientes y envía la trama correspondiente al segundo X, al cual le toca procesar y actualizar. Lo mismo pasa con el tercero, el cual deberá procesar la información y actualizar mientras los demás X permanecen en espera de una nueva trama, a excepción del primero que debe censar ahora sus pines y enviar la trama correspondiente hacia M, el cual procesa y actualiza sus pines; entonces será el turno del segundo y del tercero sucesivamente para que entonces

vuelva a tocar el turno a M y se repita el ciclo. Es importante el resaltar que siempre se conserva este orden aunque los datos que se envíen al microcontrolador no impliquen cambio alguno con respecto a la vuelta anterior.

Tras el estado de *reset* y la carga de las instrucciones de inicialización, el chip entra en una rutina de *acoplamiento* con el sistema, esto es para determinar si debe autoconfigurarse como un M ó un X; si se da el caso de que se encuentra solo, o sea, no recibe datos mediante la UART, se autonombra como M y se etiqueta con el número 01h (hexadecimal); en caso contrario, se adjudica el título de X y espera a ser acoplado por M en el bus y recibir su identidad. Entonces, siendo X, debe asignarse un número en el bus para ser reconocido por el sistema, de modo que, por ejemplo, si un chip se conecta inmediatamente después de M, se etiquetará como 0Bh, mientras que el que se conecte después de este será 0Ch y así sucesivamente hasta llenar el espacio disponible en pines de M (tentativamente cada X tendrá a su cargo 10 pines del PLC).

Las asignaciones de identidad que se manejan en el protocolo son con el fin de mantener un buen grado de compatibilidad con posibles nuevas implementaciones del mismo. De esta forma se conservan disponibles cuando menos 8 espacios de identidad en el caso de que se requiera interactuar con otros buses, y de forma análoga pueden conectarse hasta 244 X. Cabe aclarar que este programa sólo contempla por el momento la existencia de un solo M.

Ahora, volviendo a M, una vez que se ha autonombado como tal, no teniendo aún ningún X reconocido, envía una trama que, al no tener asignado un *destino* en el byte IDR_x de la trama emitida, será identificada como de *soledad* y podrá ser aprovechada así para la asignación de 0Bh; mientras no reciba ningún dato, M seguirá en este ciclo, ya que esto indica que no tiene ninguna extensión con la cual trabajar.

Una parte fundamental del protocolo es la que prevé la posibilidad de error y que busca mantener la sincronización del sistema y se describe a continuación:

Tras conectarse un X, éste va a comenzar a recibir datos ya sea de M o de otro X. En caso de recibirlos de M, verifica si éste se encuentra solo y si es así procede a nombrarse 0Bh no sin haberse *sincronizado* antes con las señales del sistema y tras haberle dado seguimiento a las señales emitidas durante tres tramas válidas recibidas de M. En caso de no encontrarse M solo, recibe, entra en sincronía y le da seguimiento a los ciclos de emisión del sistema hasta asignarse el número consecutivo al controlador más nuevo anterior a él. Acto seguido, espera su turno de

transmisión en el bus reportándose como nuevo para ser reconocido por M y, por consiguiente, obtener una asignación de determinados pines del PLC.

Una vez establecido en el sistema al menos un X, M censa sus pines asignados a este dispositivo, los actualiza y envía su estado en los bytes 4 y 5 de la trama emitida para que X los compare con el estado actual de sus pines y los actualice ya sea a entradas o a salidas. Ahora bien, X censa sus pines y comunica cualquier cambio de estado a M por medio de los mismos bytes 4 y 5 para que actualice a su vez al PLC.

El orden de turno para el sistema es el explicado anteriormente: M transmite a cada X, enseguida, los X transmiten a M, y se repite el ciclo. Ahora, cada que termina un ciclo, M espera entrar a un proceso con un temporizador asignado para esperar por un nuevo X, al agotarse el tiempo, si no se presentó ningún dispositivo desconocido, M inicia un nuevo ciclo. Pero en caso de presentarse un nuevo dispositivo en el bus, M lo reconoce, asigna los pines correspondientes y, por consiguiente, queda adherido como una parte funcional más del sistema.

IV. Pruebas y Resultados.

En este capítulo se describen de manera detallada las pruebas realizadas en el desarrollo de este trabajo con el fin de desarrollar un sistema de transmisión de datos sobre la red eléctrica que cumpla con los objetivos planteados inicialmente. Esta sección incluye diagramas de los diseños finales del sistema, así como imágenes tomadas del osciloscopio de las diversas pruebas realizadas para comprobar la funcionalidad del sistema. Finalmente se incluye la aplicación de control para la que fue pensado inicialmente este trabajo.

Antecedentes

La inquietud que motivó este trabajo surge durante el período de servicio social prestado en el edificio L-3 de la FES Aragón bajo la supervisión del Ing. Rafael Antonio Márquez Ramírez.

El objetivo principal dentro del servicio social fue el de desarrollar un sistema capaz de funcionar como un extensor de dispositivos PLC (Programable Logic Controllers) o Controladores Lógicos Programables con un mínimo número de cables ya que estos dispositivos utilizan un cable por cada línea de salida hacia cada dispositivo a controlar (válvulas, actuadores, etc.), lo cual, a una distancia mayor a un metro ya implica un gasto considerable, más aún si se necesita controlar un dispositivo que se encuentra a decenas de metros.

De esta forma se pensó como primera alternativa en un bus de controladores conectados entre sí por sólo 2 alambres: uno usado como referencia (GND) y el otro utilizado tanto para envío y recepción de datos como para la alimentación misma del sistema completo (12volts de cd).

Las primeras pruebas realizadas se encaminaron a comprobar la compatibilidad de comunicación entre los dispositivos controladores más comerciales actualmente en el país: PIC de la compañía Microchip, COP de Nacional y AVR de Atmel. Esto fue también con el objeto de no tener que depender, en un dado caso, de un solo tipo de controlador.

Obteniendo resultados de total compatibilidad entre los controladores, claro está, bajo el adecuado manejo del protocolo, se prosiguió a llevar a cabo varias pruebas con el propósito de “montar” la señal binaria de datos sobre la de 12volts de corriente directa pudiendo además recuperar los datos en el lado receptor. Para tal efecto se diseñaron y probaron 3 tipos de circuitos electrónicos.

En el primero se diseñó en base a un transformador que sirviera para acoplar la señal binaria con la de alimentación. Al tomar mediciones con el osciloscopio se observaron impulsos eléctricos de la misma frecuencia que la señal binaria enviada, sin embargo, no era una señal utilizable por lo cual se descartó el diseño.

Con el siguiente diseño se buscó desde un principio la optimización de los recursos al implementarse la alimentación del chip controlador a partir de la línea de 12 volts por medio de un circuito integrado regulador de tensión (LM7805) que entrega los 5volts necesarios para alimentarlo.

Este experimento arrojó mejores resultados que el primero, presentándose el problema de que la señal obtenida sobre la alimentación presentó una potencia baja, además de poca estabilidad, de tal suerte que, siendo el mantener el menor costo posible y sencillez en cuanto a componentes dos de los factores primordiales del proyecto, se optó por replantearlo de forma física ya que el aumentar la potencia hubiese obligado a alejarse de estos dos objetivos del proyecto.

El resultado de dicho replanteamiento fue el considerar la alternativa del empleo de 3 alambres: GND, VCC y transmisión y recepción de datos.

La nueva alternativa fue implementada en una prueba con los microcontroladores AVR (AT90S2313), PIC16F874 y COP8CBR9. En dicha prueba se conectaron los microcontroladores a través de la interfaz serie en una emulación del bus pensado para el proyecto, intercomunicándose por medio de un protocolo sencillo y con relevadores de estado sólido del fabricante SUNHOLD conectados a algunos de los pines de salida; todo esto con el objeto de verificar la respuesta y confiabilidad de cada controlador en términos tanto de potencia para manipular los relevadores. Tras las pruebas realizadas se tomó la decisión de utilizar AVR como plataforma del sistema debido a que demostró mejor desempeño, versatilidad y accesibilidad en cuanto a programación que sus equivalentes. Esta prueba fue determinante para inclinarse también para el desarrollo del presente trabajo por el uso de AVR.

A partir de este punto se comenzó con la fase primordial del proyecto: el desarrollo e implementación del protocolo de comunicación entre los microcontroladores, el cual se desarrolló en lenguaje ensamblador sobre la plataforma del fabricante del microcontrolador (AVR Studio4) y se detalla en la sección "III.4 El Programa".

La idea de utilizar tres cables para el trabajo parecía buena en un principio, pero de forma alterna al desarrollo del programa para el sistema, se encontró otra solución que se orientaba más hacia el primer intento en el que se buscó utilizar solamente un cable: utilizar como medio de comunicación a la red eléctrica.

IV.1 El Sistema Trabajando.

El primer reto a vencer para este trabajo fue el de obtener un circuito de acoplamiento capaz de insertar la señal de información en la red eléctrica proporcionando el aislamiento (filtrado) necesario de la señal de 127volts con el sistema, para lo cual se tuvieron que superar varias etapas de pruebas y errores (y muchos cortocircuitos) con distintos componentes hasta obtener un diseño adecuado para la inserción de la señal en la línea.

Como se mencionó anteriormente, en un inicio, se seleccionó a FSK como esquema de modulación para este trabajo, aunque finalmente se optó por un método más sencillo como esquema de modulación, ASK. Este método resultó ser mucho más eficiente que FSK debido tanto a su desempeño como al costo de implementación.

Entonces se presentó el problema de la atenuación que sufre la señal de alta frecuencia al ser insertada en la red eléctrica, por lo que se requirió de una pequeña etapa de amplificación de potencia. Para esto se pensó en un principio implementar un amplificador operacional con una salida amplificadora de potencia, sin embargo, se encontró una mejor alternativa en el uso de un transistor de conmutación rápida, 2N2905A. Con dicho transistor se logró una mayor corriente (a pesar de lo cual sólo fue de alrededor de 100mA) de salida para la señal hacia el circuito de acoplamiento.

Con estos elementos listos, se prosiguió a insertar la señal en la red eléctrica y verificar su alcance, el cual resultó ser de varios metros de distancia, lo cual representó un gran avance y se dio paso a la fase que requirió de más empeño y tiempo de todo el sistema: la etapa de recepción.

La recuperación de portadora de una señal de ASK, si se tienen las condiciones adecuadas de potencia en la señal, es muy simple; basta un circuito detector de picos que tome solamente la envolvente de la señal. Sin embargo, en este caso, la señal siempre llegaba con tan poca energía que se requirió tomar en cuenta dos consideraciones:

- Primero, en virtud de mantener la simplicidad en la etapa de transmisión, era necesario utilizar la misma fuente de alimentación de 5volts para todos los componentes, por lo que se descartó la opción de incrementar significativamente el voltaje de la señal transmitida (en algunos sistemas de CSRE analizados, se usan hasta 30volts). Por esto, mejor se optó por enfocarse directamente a implementar de forma robusta, un amplificador en la recepción, el cual de cualquier forma iba a ser necesario.
- Segundo, una vez implementado el amplificador de la señal, la corriente fue insuficiente para encender el diodo de conmutación rápida 1N4148 del detector de picos modificado, por lo que nuevamente se pensó en un transistor como en el caso de la etapa de transmisión.

En ambos casos, se utilizaron varios modelos y se pasó por diversas pruebas hasta que se llegó al diseño actual.

El resultado es un sistema que opera en una frecuencia alta (4MHz), en virtud de lo cual no infringe las normas dadas ni por la FCC ni por el CENELEC en cuanto a las restricciones de ancho de banda que marcan estas regulaciones.

En lo que respecta a la potencia de transmisión, también cumple con los requerimientos, ya que está muy por debajo del límite establecido por el CENELEC, que es de 500mW. La baja potencia de transmisión se encuentra sustentada por la eficacia del circuito receptor que es capaz de recuperar una señal de hasta unas cuantas decenas de milivoltios de amplitud.

IV.2 Probando el Sistema.

Las primeras pruebas realizadas para verificar el correcto funcionamiento del sistema se realizaron tomando muestras de niveles de voltaje por medio del convertidor analógico digital (CAD) de 10 bits de resolución del AVR.

Para estas pruebas, si bien el CAD del AVR cuenta con una resolución de 10 bits, para fines prácticos se discriminaron los 2 bits menos significativos del convertidor.

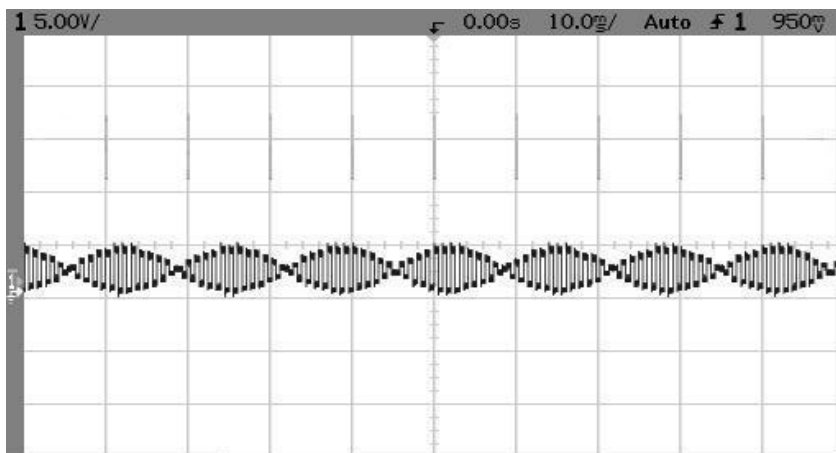
Los niveles de voltaje muestreados (a 8 bits) se envían a través del Receptor Transmisor Universal Asíncrono (UART) del mismo microcontrolador, la cual permite establecer una comunicación Dúplex (aunque es posible transmitir y recibir datos al mismo tiempo, sistema "Full-Duplex") entre el receptor y el transmisor (Ver apéndice B.1 para el programa correspondiente).

En primer lugar se probó enviando distintos niveles de voltaje en forma de datos una vez que fueron muestreados por el CAD, de manera que simplemente fuera verificándose que fueran los mismos a través de un arreglo de LED's a la salida de un puerto de 8 bits tanto en el lado transmisor como en el lado receptor, esto es, debía encender o apagar la misma secuencia de LED's en ambos lados del sistema.

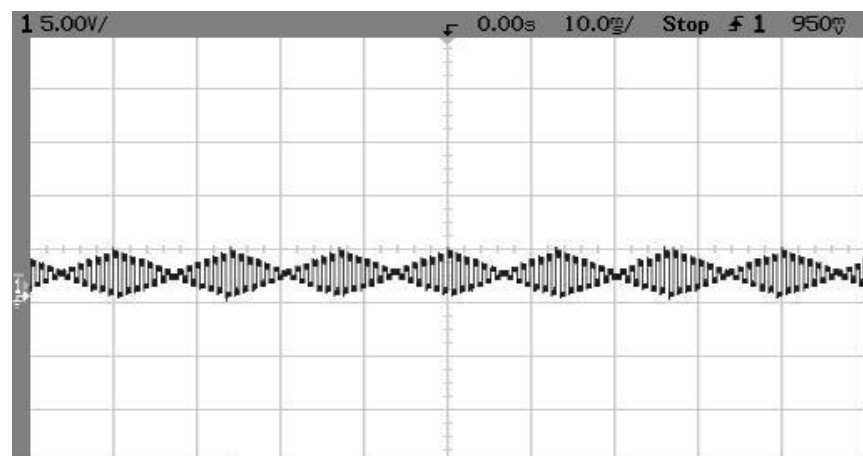
Una vez superada esta prueba, se prosiguió a poner a prueba el sistema un poco más a fondo.

Para esta prueba se utilizó un dispositivo generador de funciones del fabricante Agilent para introducir distintas formas de onda para ser muestreadas por el convertidor analógico digital del microcontrolador. Se fijó la frecuencia y la amplitud de las señales transmitidas en 40Hz y 5volts, respectivamente. Considerando que cada muestra de nivel de voltaje tomada por el CAD es de una resolución de 8 bits más un bit de inicio y otro de paro dan como resultado cadenas de 10 bits (ver sección III.3). Entonces, siendo la velocidad de transferencia de datos de 9600 baudios, que corresponden a la señal emitida por la UART del AVR, se obtiene una frecuencia de muestreo de 960 muestras por segundo, esto es, aproximadamente 24 muestras por ciclo de la onda transmitida. Como ya se explicó anteriormente, estas cadenas de datos que ahora son muestras de señales analógicas digitalizadas, se modulan en amplitud, obteniéndose de esta forma una señal de ASK con una frecuencia de portadora de 4MHz y una frecuencia de moduladora de 4800Hz.

El resultado fue el esperado. En el lado receptor, por medio del convertidor digital analógico de 8 bits de resolución construido a la salida del microcontrolador, se obtuvo la réplica (como niveles de voltaje) correspondiente a cada forma de onda transmitida (Fig. 4.2).



a)



b)

Fig. 4.1 Formas de onda recibidas

En la figura 4.1a se tiene la señal recuperada de una senoidal transmitida, mientras que en la figura 4.1b se observa la señal correspondiente a una forma de onda triangular. En ambos casos simplemente basta con pasarlas por un filtro paso bajas adecuado para obtener una mejor definición de la señal.

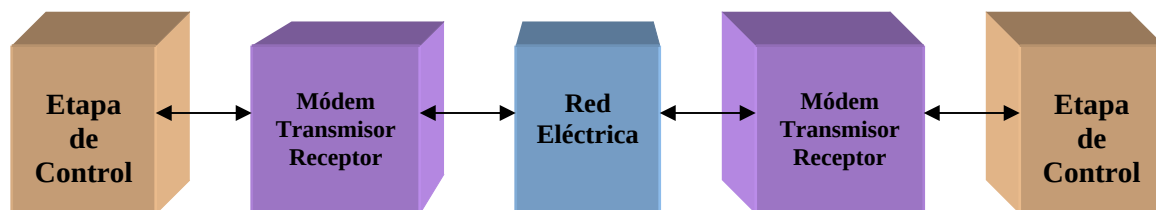
Esta prueba se realizó fijando la tasa de transferencia de datos a través de la programación del microcontrolador a 9600bps, y se alcanzó una tasa de transferencia de datos de hasta 19200bps con tan sólo duplicar la frecuencia de operación del AVR. Sin embargo, una fuente de ruido, a la

cual no fue posible identificar, introdujo una señal de baja frecuencia que se hacía presente aproximadamente cada 8.3 milisegundos (120Hz).

Dicha fuente de ruido provocó una clara distorsión de la forma de onda, por lo que se precisó la necesidad de eliminarlo, o bien, disminuirlo lo suficiente para que no representara un problema para el sistema. La solución a este problema de ruido fue la implementación de un filtro activo de segundo orden (ver capítulo III.3).

IV.3 Aplicación

El motivo que impulsó el desarrollo de este trabajo, como se menciona al inicio de este capítulo, fue la necesidad de un sistema de comunicación con fines de control que fuera económico, práctico y eficaz. El siguiente diagrama a bloques representa la estructura final de nuestro sistema:



El sistema de CSRE se probó en esta etapa en una casa habitación de 2 plantas lográndose transmitir información y recibirla prácticamente desde cualquier punto hacia otro sobre una misma fase de distribución eléctrica. Es importante mencionar que se tuvieron muchos problemas al querer transmitir o recibir en algún contacto que tuviera conectado un aparato con algún tipo de eliminador o *no-break*, ya que estos provocan que la señal transmitida se atenúe y distorsione de forma drástica, resultando imposible recibir los datos enviados.

Bajo la premisa de haberse obtenido buenos resultados (vistos en el osciloscopio), en la transmisión de niveles de voltaje, se prosiguió a establecer una aplicación de control para encender y apagar

distintos aparatos electrodomésticos conectados a la red eléctrica desde un extremo de la casa a otro.

Obviamente, debido a las características eléctricas del AVR (ver Apéndice C1), se presentó la necesidad de implementar un relevador a la salida del microcontrolador para lograr encender un aparato eléctrico. Para tal efecto se procedió a agregar al circuito original una pequeña etapa de potencia compuesta por dos relevadores.

La decisión de utilizar estos dos relevadores en serie se tomó debido a que, en primer lugar, era necesario un dispositivo capaz de manejar la corriente de encendido y operación para que un aparato electrodoméstico como una licuadora funcionara correctamente, para lo cual, el RAS-06010 es más que suficiente, sin embargo, la corriente nominal de la bobina es de 60 a 72 mA para activar el relevador y la corriente de salida de los pines del AVR a una frecuencia de operación de 4MHz y con un voltaje de suministro de 5volts es de apenas 12mA (ver Apéndice C), por lo tanto, el AVR no alcanza a proporcionar la corriente necesaria para la operación del RAS-06010.

Para solucionar esto se pensó en colocar entre el RAS-06010 y el microcontrolador un relevador que requiriese un menor consumo de potencia. Para esto se probó con dos dispositivos especiales para telecomunicaciones diferentes, ambos de SUN HOLD: el MD-5 y el THD-0501L. La hoja de especificaciones de ambos se puede consultar en el Apéndice C.

El circuito funcionó con el THD-0501L, ya que a pesar de que su corriente nominal es de 41.7mA, pudo ser activado por los pines de salida del AVR. Sin embargo, el MD-5 resultó ser una mejor opción al tener una menor demanda de corriente (10mA).

En primera instancia se probó enviando la señal entre dos contactos cercanos (aproximadamente 2 metros de cableado eléctrico estructural); es importante señalar que las distancias son muy difíciles de determinar con certeza, ya que la cantidad de cableado eléctrico existente de un punto a otro en una de instalación de un edificio o casa habitación ya construido puede variar mucho. Los aparatos utilizados básicamente fueron aquellos que se consideró podrían ser más problemáticos para el correcto funcionamiento del sistema, esto es por cuestiones del ruido y distorsión que pueden introducir en la señal de 127volts de la red eléctrica estos aparatos que funcionan con pequeños motores. De esta forma se aseguró el funcionamiento del sistema bajo condiciones reales de un entorno doméstico.

De esta forma, se realizaron las pruebas básicamente con un taladro y una licuadora. Las características de interés de ambos aparatos son las siguientes:

Aparato	Voltaje (V_{AC})	Corriente (I)	Potencia (P)
Licuadora	127v	3.1A	393.7W
Taladro	127v	3A	375W

Durante estas pruebas no se presentó problema alguno con el desempeño del sistema. Entonces se procedió a probar la aplicación conectando el sistema en diversos puntos de la casa, consiguiendo encender y apagar los aparatos conectados hasta a una distancia máxima de dos pisos de distancia y de un extremo a otro de la casa.

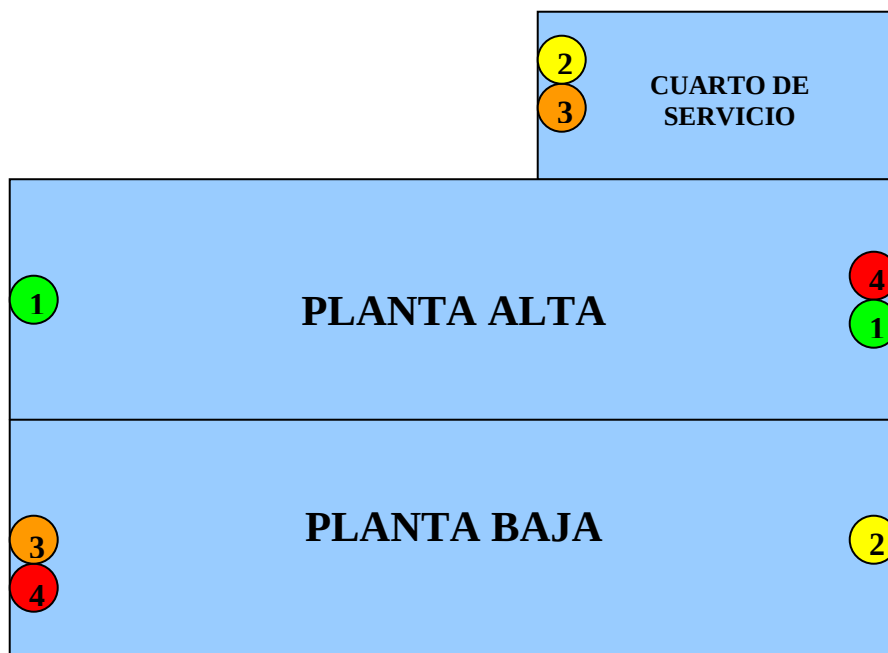


Fig. 4.2 Alcance de la señal del sistema en una casa habitación

En la figura 4.2 se observan las distancias *aparentes* entre algunos de los puntos más lejanos de conexión del sistema entre los que se logró establecer una comunicación exitosa (1 y 2), así como los puntos entre los que no se logró establecer una conexión (3 y 4).

CONCLUSIONES

Las aplicaciones que se le pueden dar a la tecnología de CSRE abarcan todo lo relacionado con comunicaciones y control dentro de un entorno, ya sea casero o industrial: domótica, control industrial, telefonía, intercambio de información entre computadoras estableciendo redes, etc. Todo esto utilizando cableado o infraestructura ya instalados, por lo cual se ha desarrollado como una alternativa de bajo costo y alta rentabilidad principalmente para las empresas a través del mundo.

Como se vio en el primer capítulo, en México no se han desarrollado las CSRE a pesar de que se han venido haciendo intentos por lograr establecer sistemas de comunicación por este medio en provincia con el propósito de obtener un medio de comunicación entre comunidades aisladas que permita el acceso a la telefonía y a Internet, entre otros servicios a los cuales no es posible tener acceso en estos lugares por falta de infraestructura. Estos esfuerzos han arrojado avances como la comunicación telefónica que sostuvo el Presidente Vicente Fox por medio de la red eléctrica; sin embargo, hasta la fecha no se han obtenido resultados concretos pero siguen las investigaciones por parte de diversas compañías de telefonía en conjunción con la CFE. Sin embargo, como también se explicó, esta tecnología se ha venido utilizando en pequeña escala como medio de comunicación casero y de intercambio de información a bajas velocidades.

En el mundo existe una gran polémica acerca del uso de esta tecnología debido a sus características y a los posibles problemas que, según se plantea, ocasiona el insertar energía de alta frecuencia en infraestructura diseñada para señales de baja frecuencia, por lo que se han establecido, en el caso de los Estados Unidos por la FCC, ciertas regulaciones al respecto, mientras que en Europa, con el CENELEC y otros organismos, no logran ponerse de acuerdo y sólo se tienen recomendaciones al respecto.

En México, con respecto a este tipo de comunicaciones, de incipiente uso, no se encontró regulación alguna hasta el momento.

El desarrollo de este trabajo se llevó a cabo en varias etapas tanto de documentación e investigación como de práctica en el laboratorio y en otras instalaciones.

Se pensaron distintas opciones para cada reto y se analizaron varias soluciones para cada problema, inclinándose siempre por las más adecuadas sin perder de vista los objetivos planteados inicialmente.

En algunos casos se obtuvieron resultados mejores a los esperados y en otras situaciones condujeron al replanteamiento de los mismos objetivos iniciales.

Durante el desarrollo de este trabajo y en relación a los objetivos planteados en un inicio, se logró alcanzar las siguientes metas:

- 1.- Se construyó un equipo transmisor receptor de datos sobre la red eléctrica que opera a una frecuencia de 4MHz con ASK como esquema de modulación. El sistema es capaz de transmitir y recibir datos sobre la red eléctrica de forma exitosa a una velocidad de transferencia de 9600bps y hasta 19200bps (operando a 8MHz), siendo el objetivo inicial planteado el de una velocidad de 1200bps.
- 2.- Debido a las características hostiles para la transmisión de altas frecuencias sobre la red eléctrica, la parte receptora se volvió parte crucial del sistema, por lo cual cuenta con un diseño capaz de recibir una señal de apenas un par de cientos de milivolts y recuperar de forma satisfactoria la información enviada. Además de que es capaz de discriminar el ruido de baja frecuencia y atenuarlo a través del filtro implementado en el mismo circuito receptor.
- 3.- Se logró establecer una comunicación entre dispositivos conectados únicamente por medio de la red eléctrica monofásica del edificio L-3 de la FES Aragón, enviando y recibiendo información de acuerdo a las pruebas descritas en el capítulo IV.
- 4.- Se logró establecer la comunicación entre dispositivos conectados únicamente a sobre la red eléctrica monofásica de un edificio o casa habitación, transmitiendo información entre ellos con fines de control en una especie de pequeña red casera, enviando instrucciones de encendido y apagado a distintos aparatos electrodomésticos conectados a la red eléctrica por medio del circuito transmisor-receptor. Estas últimas pruebas mencionadas fueron realizadas únicamente en un domicilio particular de dos niveles (ver sección IV.2).
- 5.- Se diseñó e implementó un programa o protocolo de comunicación original (Sistema MX), el cual es capaz de prever situaciones de pérdida de sincronía, así como posibles errores en

la transmisión. Este protocolo está pensado con el fin de implementar un bus de microcontroladores extensor de PLC, sin embargo, no se implementó de forma práctica durante el desarrollo de este trabajo.

- 6.- Debido a las características hostiles para la transmisión de altas frecuencias sobre la red eléctrica, la parte receptora se volvió parte crucial del sistema, por lo cual cuenta con un diseño capaz de recibir una señal de apenas un par de cientos de milivolts y recuperar la información de la señal original enviada.
- 7.- Cada componente utilizado en el diseño del circuito, desde la fuente de alimentación, hasta las etapas de recepción y transmisión, es de un costo sumamente accesible y, de forma paralela, siempre se buscó utilizar recursos ya existentes. El nivel de desarrollo del sistema para este trabajo fue a nivel de prototipo, sin embargo, hablando de forma concreta, el costo de construcción del módem transmisor-receptor utilizado no sobrepasa los \$150.00 (ciento cincuenta pesos 00/100 M.N.)
- 8.- El programa está pensado para usarlo en aplicaciones de control básico en las que funciona como un extensor de un Controlador Lógico Programable (PLC) basado en un bus de microcontroladores, enviando información de activación o desactivación de elementos finales (actuadores, válvulas, sensores, etc.), según lo requiera el sistema.

Características del Sistema MX:

- No necesita de cableado alguno al hacer uso de la red eléctrica como medio de comunicación entre los diferentes puntos del bus de datos.
- Anticipación a situaciones de error y pérdida de sincronía.
- Capacidad de reconocimiento de nuevos dispositivos conectados al bus de control, esto es, aunque el sistema se encuentre en funcionamiento, si se conecta un microcontrolador al bus, éste comienza a interactuar con los que ya estaban conectados, integrándose al sistema.
- Flexibilidad de adaptación con dispositivos microcontroladores de distintos fabricantes; por su sencillez, sólo se necesita trasladar el algoritmo a la plataforma de cada fabricante.

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los objetivos de este trabajo:

OBJETIVOS INICIALES	RESULTADOS	OBSERVACIONES
Establecer una conexión sobre la red eléctrica monofásica de un edificio		El sistema fue probado de diversas formas en distintos entornos y, aunque con ciertas limitaciones, se logró enviar y recibir datos sobre la red eléctrica de forma satisfactoria
Construcción de un módem transmisor receptor para comunicar diversos dispositivos por medio de la red eléctrica		El diseño construido fue capaz de enviar y recibir datos, y tras unas cuantas adaptaciones, de encender y apagar distintos aparatos conectados a la red eléctrica
Desarrollo de un protocolo de comunicación original		Se creó un algoritmo de acuerdo a las características especificadas en un inicio
Alcanzar una velocidad de transferencia de datos de 1200 baudios		Se logró una transferencia de datos de hasta 19200baudios (16 veces la propuesta inicial)
Trabajar bajo condiciones reales de operación (ruido y distorsión) de un entorno de baja tensión		Durante el desarrollo del trabajo se fueron presentando retos que condujeron al robustecimiento del sistema hasta hacerlo capaz de trabajar bajo condiciones adversas
Optimización de recursos para el diseño y desarrollo del sistema		El costo económico del modelo obtenido es sumamente bajo



NO SE ALCANZÓ LA META O SE ALCANZÓ PARCIALMENTE



SE CUMPLIÓ CON EL OBJETIVO PLANTEADO



SE SOBREPASARON LAS EXPECTATIVAS

Los posibles alcances y aplicaciones para este trabajo en el punto actual de su desarrollo, en virtud de que es un sistema transmisor de datos a pesar de haber sido planteado con fines de control digital, son:

- Comunicación entre dispositivos microcontroladores sin importar el fabricante (sólo se tienen que hacer las adaptaciones al lenguaje de cada dispositivo). Esto implica una gran versatilidad del sistema basada en su sencillez, ya que, si bien la señal de portadora se fijó en 4Mhz (frecuencia de operación), la señal moduladora puede variar de acuerdo a las necesidades del usuario de manera sencilla en base a la programación del dispositivo. Este punto comprende la posibilidad de implementar el Sistema MX, ya que se basa en el uso de microcontroladores como extensores de los dispositivos de control digital.
- De forma complementaria a lo anterior, sin mayor dificultad se podría establecer una red de computadoras casera (por el momento con velocidades de transmisión de datos relativamente bajas, ya que nuestra velocidad máxima probada que es de 19.2Kbps es muy baja a comparación de las velocidades que otros métodos de comunicación de red para computadoras manejan en la actualidad), obteniendo la señal moduladora (señal de información) del puerto serial de la máquina a través de un programa sencillo.

A modo de análisis de los puntos débiles, de la proyección a futuro con respecto a este trabajo se pueden mencionar los siguientes aspectos:

- Si bien este trabajo fue pensando desde un inicio para cumplir con un fin de control en específico, representa un punto de partida para el desarrollo de más aplicaciones sobre esta plataforma. Un siguiente paso a seguir sería la transmisión de voz a través de este medio, ya que las velocidades de transmisión de datos alcanzadas en este trabajo son bastante buenas y sin mucho esfuerzo podrían alcanzarse velocidades mayores.
- El programa fue pensado y desarrollado para funcionar con un bus de microcontroladores como un extensor de PLC, sin embargo, no se tuvo la oportunidad de probarlo como tal durante el período de elaboración de este trabajo, sin embargo, quedan sentadas bases sólidas para la implementación del Sistema MX de forma funcional en un proyecto posterior.

- Debido a la grave atenuación que sufre la señal al viajar sobre la red eléctrica, se vuelve necesaria la presencia de un repetidor entre dispositivos para cubrir distancias muy largas e incluso se planteó la implementación de uno para transmitir información en instalaciones que contaran con más de una fase eléctrica (bifásica, trifásica) dentro de un mismo edificio o zona; esto va enfocado principalmente al ramo industrial y sería una mejora significativa para el sistema.

Durante la elaboración de este trabajo se requirió de la aplicación de todos los conocimientos de los que se pudiera echar mano, ya sea que hubiesen sido adquiridos durante el transcurso de la carrera en las diversas materias o a través de libros o prácticas adicionales, o durante el desarrollo mismo del trabajo. Algunos de los puntos más importantes al respecto son:

- Las pruebas realizadas a lo largo de este trabajo requirieron de mucha perseverancia, investigación, aplicación de conocimientos y muchos cortocircuitos. Resultó apasionante la búsqueda de información acerca de un tema que, si bien, no es nuevo, en nuestro país no existe documentación al respecto, por lo que se requirió del uso de medios alternos, principalmente Internet para la consulta de documentos y libros electrónicos, así como de páginas de fabricantes, etc.
- En general, de las materias que se imparten en la carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica en la FES Aragón, se aplicaron conocimientos de materias como Microprocesadores, Diseño de Sistemas Digitales, Comunicaciones Digitales, Radio y Microondas, Circuitos Digitales, Potencia, Circuitos Analógicos y Digitales, entre las más destacadas.
- Algo deseable para la elaboración de este proyecto hubiera sido el poder contar con una mayor fuente de recursos disponibles en cuanto a material electrónico se refiere, ya que en muchas ocasiones nos encontramos con la limitante de que ciertos componentes son muy difíciles (y por tanto, más caros) o imposibles de conseguir en el país y resultaba sumamente costoso traerlos desde el extranjero. Sin embargo, esta situación propició, por otro lado, la búsqueda con mayor ahínco de otras alternativas con los elementos de que se disponía, en muchos casos se echó mano de componentes de equipo viejo de comunicaciones, principalmente en el caso de los transformadores utilizados.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- [1] Platt, Glenn; Domestic Power Line Carrier Communications; University of Newcastle Electrical Engineering Thesis; October, 1999.
- [2] Dungan, Frank R.; Electronic Communication Systems, Third Edition; Delmar Editors, 1998.
- [4] Couch II, Leon W.; Sistemas de Comunicación Digitales y Analógicos, 5ª. ed.; Prentice Hall, 1998.
- [3] Couch, Leon W. II; Digital and Analog Communication Systems, 4th ed; Macmillan Editors, 1990.
- [4] Tomasi, Wayne; Advanced Electronic Communications Systems 4th Ed; Prentice Hall, 1998.
- [5] Alisouskas, Vincent F.; Digital and Data Communications; Prentice Hall, 1985.
- [6] Xiong, Fuqin; Digital Modulation Techniques; Artech House, 2000
- [7] Wang, Feng; Design of Modulators for Oversampled Converters; Kluwer Academic, 1998.
- [8] G. Marubayashi and S. Tachikawa, "Spread Spectrum Transmission on Residential Power Line", IEEE Conference on Spread-Spectrum Techniques, January 1996, pp1082-1086.
- [9] "The Role of Power Line Communications in the Networked Home." Eitan Einwohner, ITRAN communications limited web site, <http://www.itran.com>
- [10] "The Advantages of *Differential Code Shift Keying* Applied to CEBus", ITRAN communications limited web site, www.itran.com
- [11] "Introduction to Power Line Communications"; <http://plc.qsclink.com>
- [12] "Power Line Carrier Technology"; <http://www.x10.com>

- [13] Young, Paul H.; Electronic Communication Techniques; Charles E. Merrill Publishing Co. 1985
- [14] Frenzel, Louis E.; Sistemas Electrónicos de Comunicaciones; Ed. Alfaomega, 2003.
- [15] ATMEL 8-bit AVR Microcontroller Datasheet.
- [16] National Semiconductors; www.national.com

GLOSARIO

ASK. Modulación por Corrimiento de Amplitud (Amplitude Shift Keying)

Baudio. Equivalente a un bit por segundo

BER. Tasa de Error en la transferencia de bits (Bit Error Rate)

Casa Inteligente. Edificio equipado con un gran número de sensores y actuadores de modo que desde la iluminación y el aire acondicionado hasta los electrodomésticos pueden ser activados y supervisados de forma remota.

CENELEC. El Comité Europeo para la Estandarización Electrotécnica, fue creado en 1973 como resultado de la fusión de dos organizaciones europeas: CENELCOM y CENEL. Desde entonces, el CENELEC es una organización técnica no lucrativa compuesta por los Comités Electrotécnicos Nacionales de 28 países europeos. Además, 8 Comités Nacionales del Este de Europa y los Balcanes participan en calidad de afiliados.

CFE. Comisión Federal de Electricidad

CFS. Sistema de Frecuencia Portadora (Carrier Frequency System).

CSMA. Acceso Múltiple por Detección de Portadora (Carrier Sensed Multiple Access).

CSRE. Comunicaciones Sobre la Red Eléctrica es una técnica que utiliza como medio de comunicación las líneas de distribución eléctrica.

FCC. Comisión Federal de Comunicaciones (Federal Communications Commission).

FSK. Modulación por Corrimiento de Frecuencia (Frequency Shift Keying)

LED. Diodo Emisor de Luz (Light Emitter Diode).

OFDM. Multiplexaje por division ortogonal de frecuencia (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), es una técnica de transmisión que divide la cadena de datos de alta velocidad en múltiples cadenas de bits paralelas, cada una de las cuales tiene una relativa baja velocidad de transferencia. Entonces cada cadena de bits modula una serie de portadoras cercanas entre sí. La propiedad de ortogonalidad se obtiene como resultado de elegir un espacio entre portadoras igual al inverso de la transferencia de bit en cada portadora.

PLC. (Ver PLCC)

PLC¹. Controlador Lógico Programable.

PLCC. Power Line Carrier Communications. (Ver CSRE).

PSK. Modulación por Corrimiento de Fase (Phase Shift Keying).

RCS. Señalización de Portadora de Rizo (Ripple Carrier Signaling).

UART. Receptor Transmisor Universal Asíncrono (Universal Asynchronous Receiver and Transmitter).

Apéndice A

El comportamiento dentro del diseño del amplificador operacional LM318N obedece a las siguientes ecuaciones:

El voltaje de salida del amplificador es:

$$V_o = -\frac{R_6}{R_5} V_i$$

En virtud de que la amplitud de la señal varía constantemente debido a las características de atenuación de la línea, la cual varía de acuerdo a la distancia y a lo que se encuentre conectado a la red eléctrica, no es posible dar un valor fijo para V_i , sin embargo, en cualquier caso la relación de amplificación siempre es de alrededor de 10 veces el voltaje de entrada, ya que la relación entre R_6 y R_5 es de 10 a 1, esto es:

$$V_o = -\frac{10K\Omega}{1K\Omega} V_i \Rightarrow V_o = -10V_i$$

Como se explicó en la sección III.3, la presencia de una fuente de ruido, la cual produjo sobre la señal recibida un error periódico con una frecuencia de 120Hz, y cuyo origen no se pudo determinar condujo a la necesidad de implementar un filtro activo paso altas de segundo orden. Fue preciso elegir una frecuencia en la que se asegurara una atenuación drástica de la señal de ruido que estaba originando el problema, así como de cualquier otra fuente de baja frecuencia que se pudiese presentar y que al mismo tiempo permitiera el paso libre de la señal de 4MHz, por lo que eligió una frecuencia de corte media, la cual sería aproximadamente de 2MHz, pero utilizando valores comerciales de componentes, se obtuvo una frecuencia de corte de aproximadamente 1.5MHz.

La frecuencia de corte para este filtro y sus elementos fueron calculados de la siguiente forma:

$$f_{OL} = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$$

donde :

$$R_1 = R_2$$

$$C_1 = C_2$$

$$\Rightarrow f_{OL} = \frac{1}{2\pi(1 \times 10^{-9} F)(100 \Omega)} = \underline{\underline{1.59 MHz}}$$

Con esto se logró evitar que el LM318N amplificara el ruido de baja frecuencia presente en la señal de información, volviéndose de esta forma más robusto el sistema.

Apéndice B.1

Programa elaborado en lenguaje ensamblador sobre la plataforma AVRStudio 4 de Atmel.

	LDI R16,\$DF OUT \$3D,R16	
	LDI R16,\$00 OUT \$1B,R16 OUT \$1A,R16	;A Entradas
	LDI R16,\$FF OUT \$17,R16 OUT \$18,R16 OUT \$15,R16 OUT \$14,R16	;B y C Salidas
	LDI R16,\$85 OUT \$06,R16 LDI R16,\$00 OUT \$07,R16 LDI R16,\$19 OUT \$09,R16	;Configura ADC ;Preescalador = 32 = 125KHz ;MUX = ADC0 ;Configura UART ;UBRR = 25 = 0001 1001 = 9600 baud @
4 MHz	LDI R16,\$1A OUT \$0A,R16	;Inicializa UCR
E1:	SBIC \$0B,\$07 RCALL RX SBIS \$0B,\$05 RJMP E1	;Se puede escribir en UDR?
E2:	SBI \$06,\$06 SBIC \$06,\$06 RJMP E2 SBIC \$0B,\$07 RCALL RX IN R17,\$04 IN R18,\$05 SWAP R18 LSR R17 LSR R17 LSL R18 LSL R18 OR R17,R18 OUT \$0C,R17 ;OUT \$15,R17	;Inicia conversión A/D ;Terminó conversión A/D? ;Carga 8 primeros bits ;Carga MSbits ;Enmascara y almacena en R17 ;Escribe en UDR --> Inicia Transmisión ;Saca los datos que transmite por C
E3:	SBIS \$0B,\$06 RJMP E3 RJMP E1	;Tx Completada?

RX:	CBI \$06,\$07	;Apaga ADC
	SBIS \$0B,\$03	;Overflow
	SBIC \$0B,\$04	;Error de Trama?
	RCALL ERROR	
	CBI \$12,\$02	;Apaga ERROR
	IN R17,\$0C	;Lee UDR
	OUT \$18,R17	;por B
	OUT \$15,R17	;por C
	SBI \$06,\$07	;Enciende ADC
	RET	
ERROR:	SBI \$12,\$02	;Enciende ERROR
	RET	

Apéndice B.2

```

LDI R16,$DF
OUT $3D,R16                ; Inicializa Puntero de Pila

LDI R16,$00
OUT $11,R16
OUT $12,R16
OUT $14,R16
OUT $15,R16
OUT $17,R16
OUT $18,R16
OUT $1A,R16
OUT $1B,R16                ; CONFIGURA COMO ENTRADAS TODOS LOS PUERTOS

LDI R17,$00
LDI R24,$FF                ; INICIO
LDI R29,$00                ; FIN
LDI R25,$01                ;
LDI R26,$00                ;
CLR R30                    ; RESPALDO
LDI R16,$03                ; CONTADOR

CLR R0                    ; CONTADOR
MOV R1,R16                ; CARGA 03 EN R1
CLR R16

LDI R16,$19                ;
OUT $09,R16                ; UBRR = 25 = 0001 1001 = 9600 baud @ 4 MHz

;-----
AS:      SBIS $0B,$07
         RJMP E01
         RJMP E02
E01:     INC R31
         BRNE AS                ; 256 VECES DE ESPERA
         LDI R26,$01            ; SE AUTONOMBRA "M"
         CLZ
         CLR R31
         RJMP M                ; VA A TRANSMITIR
;-----
; EN CASO DE QUE YA EXISTA UN "M":

```

E02:	IN R18,\$0C	;RECIBE B0
	RJMP E03	
E00:	MOV R31,R20	;RESPALDA IDTx
	SBIS \$0B,\$07	;ESPERA B0
	RJMP E00	
	IN R18,\$0C	;RECIBE B0
E03:	SBIS \$0B,\$07	;ESPERA B1
	RJMP E03	
	IN R19,\$0C	;RECIBE B1
E04:	SBIS \$0B,\$07	;ESPERA B2
	RJMP E04	
	IN R20,\$0C	;RECIBE B2
E05:	SBIS \$0B,\$07	;ESPERA B3
	RJMP E05	
	IN R21,\$0C	;RECIBE B3
E06:	SBIS \$0B,\$07	;ESPERA B4
	RJMP E06	
	IN R22,\$0C	;RECIBE B4
E07:	SBIS \$0B,\$07	;ESPERA B5
	RJMP E07	
	IN R23,\$0C	;RECIBE B5
	CPI R18,\$FF	
	BRNE NOV	
	CPI R23,\$00	
	BREQ VAL	;VERIFICA VALIDEZ DE LA TRAMA
NOV:	MOV R18,R19	
	MOV R19,R20	
	MOV R20,R21	
	MOV R21,R22	
	MOV R22,R23	;HACE ESTO HASTA CUMPLIR CON LA
SINCRONÍA		
	CLR R17	
	RJMP E07	
VAL:	INC R17	
	CPI R17,\$03	
	BRNE E00	;CHECA 3 VECES SINCRONÍA
	MOV R31,R20	
	CLR R17	
	CPI R19,\$00	;CHECA LA BANDERA DE SOLEDAD
	BRNE NOFL	;NO FLAG
	DEC R1	
	BRNE E00	
	LDI R26,\$0B	;SE NOMBRA "0B"
	RJMP X	;REALIZA PROCESO DE "X"
NOFL:	CP R30,R20	
	BRLO AG	
	MOV R30,R20	;ACTUALIZA AL MAYOR
AG:	CP R31,R20	;VERIFICA SI NO ESTA VOLVIENDO A TRANSMITIR
;"M"		
	BREQ E00	;SI
	CPI R20,\$01	;TRANSMITIÓ "M"?
	BRNE E00	;NO

```

DEC R1
BRNE E00
INC R30                ;IDTxMayor + 1
MOV R26,R30           ; = IDlocal
SUBI R30,$0B          ;CONTADOR DE TURNO
RJMP X                ;REALIZA PROCESO DE "X"

```

;-----

```

M:   CLR R25                ;ACTIVA BANDERA "Soledad"
      RJMP T0

M1:  INC R31
      LDI R25,$0B           ;YA NO HAY BANDERA "Soledad"
      RJMP T0

M2:  INC R31                ;ACTUALIZA CONTADOR
      INC R25               ;NUEVO IDRx
      RJMP T0

```

;AQUI DEBE SABER A QUIÉN LE VA A TRANSMITIR Y ADQUIRIR LOS DATOS DE LOS PINES CORRESPONDIENTES

```

T0:   IN R27,$10            ;
      IN R28,$16            ;ESTADO DE PINES I/O...
T001: CBI $0A,$04           ;Rx DISABLED
      SBI $0A,$03           ;Tx ENABLED

      OUT $0C,R24            ;TRANSMITE B0
T1:   SBIS $0B,$06           ;ESPERA B0 TRANSMITIDO
      RJMP T1
      OUT $0C,R25            ;IDRx
T2:   SBIS $0B,$06           ;B1 TRANSMITIDO
      RJMP T2
      OUT $0C,R26            ;IDmicro=IDTx
T3:   SBIS $0B,$06           ;B2 TRANSMITIDO
      RJMP T3
      OUT $0C,R27            ;STATUS PTOD
T4:   SBIS $0B,$06           ;B3 TRANSMITIDO
      RJMP T4
      OUT $0C,R28            ;STATUS PTOB
T5:   SBIS $0B,$06           ;B4 TRANSMITIDO
      RJMP T5
      OUT $0C,R29            ;FIN
T6:   SBIS $0B,$06           ;B5 TRANSMITIDO
      RJMP T6
      CBI $0A,$03           ;Tx DISABLED
      CPI R25,$00           ;CHECA BANDERA "Soledad"
      BREQ R0100

```

```

MOV R0,R30
SUB R30,R31
CPI R30,$01
BRNE M3
SBR R26,$07           ;PONE BANDERA "FinTx"
MOV R30,R0
RJMP M2
M3:  MOV R30,R0
      CBR R26,$07       ;BORRA BANDERA "FinTx"
      CPSE R31,R30      ;SI YA LE TRANSMITIÓ A TODOS, VA A
RECIBIR
      RJMP M2           ;SI NO, VA A TRANSMITIR DE NUEVO
      RJMP EM1

R0100: SBI $0A,$04      ;RxEN
R0102: SBIS $0B,$07     ;RECIBE B0?
      RJMP R0101
      RJMP EM2
R0101: INC R31
      BREQ T0           ;SI NO RECIBIO NADA TRANSMITE DE
NUEVO
      RJMP R0102

R0ESP: SBI $0A,$04      ;ESPERA POR SI TIENE QUE TRANSMITIR UN
NUEVO CONTROLADOR,
R2ESP: SBIS $0B,$07     ;SÓLO DEBE HACER ESTO 1 VEZ POR VUELTA
      RJMP R1ESP
      RJMP EM2
R1ESP: INC R31
      BREQ M1
      RJMP R2ESP

EM1:  SBIS $0B,$07      ;ESPERA B0
      RJMP EM1
      IN R18,$0C        ;RECIBE B0
EM2:  CLR R31
      SBIS $0B,$07      ;ESPERA B1
      RJMP EM2
      IN R19,$0C        ;RECIBE B1
EM3:  SBIS $0B,$07      ;ESPERA B2
      RJMP EM3
      IN R20,$0C        ;RECIBE B2
EM4:  SBIS $0B,$07      ;ESPERA B3
      RJMP EM4
      IN R21,$0C        ;RECIBE B3
EM5:  SBIS $0B,$07      ;ESPERA B4
      RJMP EM5
      IN R22,$0C        ;RECIBE B4
EM6:  SBIS $0B,$07      ;ESPERA B5
      RJMP EM6
      IN R23,$0C        ;RECIBE B5

```

```

CPI R18,$FF
BRNE NOV
CPI R23,$00
BREQ VALM
NOVM: MOV R18,R19
MOV R19,R20
MOV R20,R21
MOV R21,R22
MOV R22,R23
SINCRONÍA
RJM
EM6

VALM: SBR
R20,$07
RJM
NORM
RCALL
ASIG
RJM
HYP

NORM: DEC
R31
HYP: ;ACTUALIZACION DE PINES
CPI R31,$00
BREQ ROESP

ASIG: INC
R30
;ASIGNACION DE PINES
RET

```

```

;-----
X: SBR R26,$07 ;SET FLAG "New"
RX1: SBIS $0B,$07 ;ESPERA B0
RJM RX1
IN R18,$0C ;RECIBE B0
RX2: SBIS $0B,$07 ;ESPERA B1
RJM RX2
IN R19,$0C ;RECIBE B1
RX3: SBIS $0B,$07 ;ESPERA B2
RJM RX3
IN R20,$0C ;RECIBE B2
RX4: SBIS $0B,$07 ;ESPERA B3
RJM RX4
IN R21,$0C ;RECIBE B3
RX5: SBIS $0B,$07 ;ESPERA B4
RJM RX5
IN R22,$0C ;RECIBE B4
RX6: SBIS $0B,$07 ;ESPERA B5
RJM RX6
IN R23,$0C ;RECIBE B5
CPI R18,$FF
BRNE NOVX
CPI R23,$00
BREQ VALX
NOVX: MOV R18,R19
MOV R19,R20
;VERIFICA VALIDEZ DE LA TRAMA

```

	MOV R20,R21	
	MOV R21,R22	
	MOV R22,R23	;HACE ESTO HASTA CUMPLIR CON LA
SINCRONÍA	RJMP RX6	
VALX: SBRC R26,\$07		;CHECA SI ES UN CONTROLADOR AÚN NO
RECONOCIDO		
	RJMP BNEW	
	CP R20,R26	
	BRNE NONEW	
	;ACTUALIZA PINES	
	RJMP NONEW	
BNEW: CBR R26,\$07		
	CPI R26,\$0B	
	BRNE PX1	
	SBR R26,\$07	
	CPI R20,\$81	;VERIFICA BANDERA "FinTx"
	BRNE RX1	
	RJMP TX0	
NONEW:	CPI R26,\$0B	
	BRNE PX2	
	CPI R20,\$81	;VERIFICA BANDERA "FinTx"
	BRNE RX1	
	RJMP TX0	
PX1: MOV R0,R26		
	SBR R26,\$07	
	DEC R0	
	CP R0,R20	;CHECA SI TRANSMITIÓ EL ANTERIOR
	BREQ TX0	
	RJMP RX1	
PX2: MOV R0,R26		
	DEC R0	
	CP R0,R20	;CHECA SI TRANSMITIÓ EL ANTERIOR
	BREQ TX0	
	RJMP RX1	
TX0: IN R27,\$10		;ESTADO DE PINES I/O...
	IN R28,\$16	;Rx DISABLED
	CBI \$0A,\$04	;Tx ENABLED
	SBI \$0A,\$03	
	OUT \$0C,R24	;TRANSMITE B0
TX1: SBIS \$0B,\$06		;ESPERA B0 TRANSMITIDO
	RJMP TX1	
	OUT \$0C,R25	;IDRx --> SIEMPRE 01
TX2: SBIS \$0B,\$06		;B1 TRANSMITIDO
	RJMP TX2	
	OUT \$0C,R26	;IDmicro=IDTx
TX3: SBIS \$0B,\$06		;B2 TRANSMITIDO
	RJMP TX3	
	OUT \$0C,R27	;STATUS PTOD

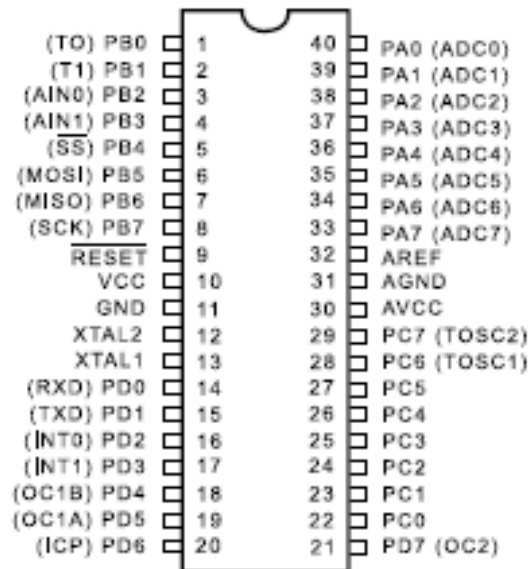
TX4:	SBIS \$0B,\$06	;B3 TRANSMITIDO
	RJMP TX4	
	OUT \$0C,R28	;STATUS PTOB
TX5:	SBIS \$0B,\$06	;B4 TRANSMITIDO
	RJMP TX5	
	OUT \$0C,R29	;FIN
TX6:	SBIS \$0B,\$06	;B5 TRANSMITIDO
	RJMP TX6	
	CBI \$0A,\$03	;Tx DISABLED
	CBR R26,\$07	;DEACTIVA BANDERA "New"
	RJMP RX1	;VA A RECIBIR DE NUEVO

Apéndice C.

A continuación se presentan las especificaciones generales de los componentes claves utilizados en el desarrollo de este trabajo.

AT90S8535

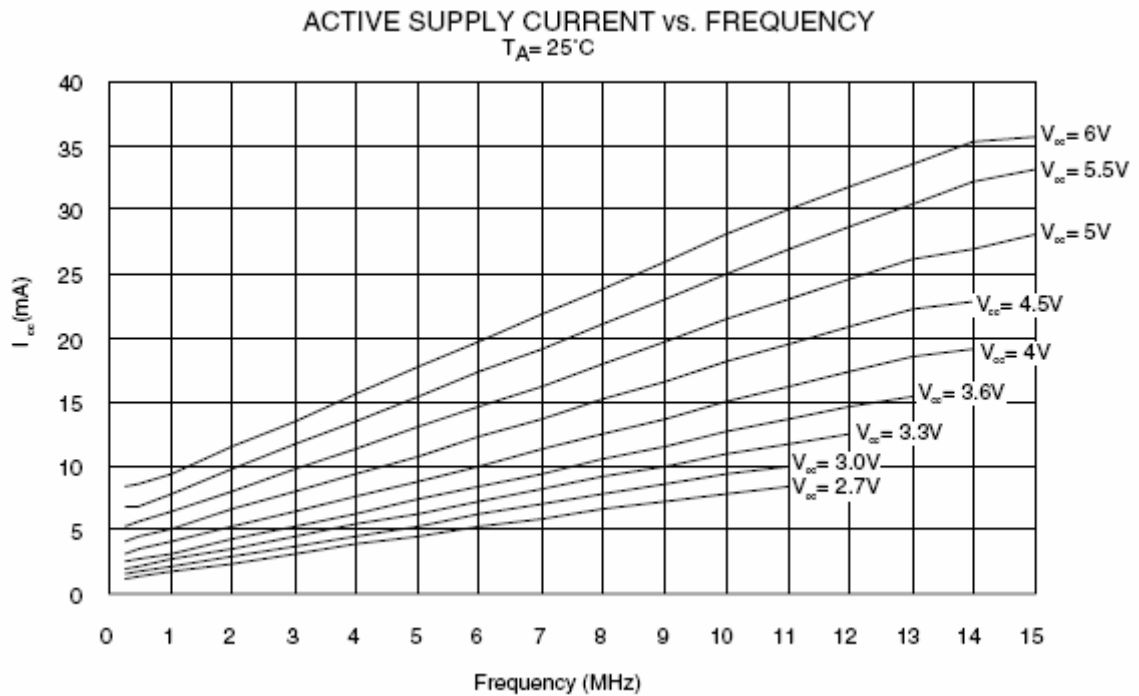
8-bit Microcontrolador de 8 bits con 8Kbytes de memoria Flash Programable



Características

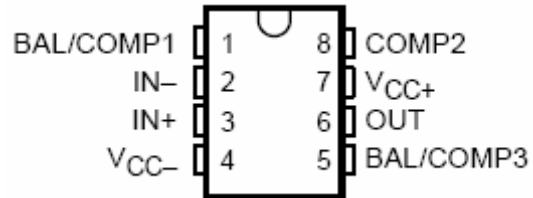
- Alto Desempeño y Arquitectura RISC de bajo consume AVR
 - 118 Poderosas Instrucciones – Ejecución de Un Ciclo por Instrucción.
 - 32 x 8 Registros de Propósito General
 - Hasta 8MIPS @ 8MHz
- Memorias de Datos y No Volatil
 - 8Kbytes de Memoria Flash Programable
 - 512 Bytes EEPROM
 - 512 Bytes SRAM Interna
- Periféricos
 - CAD de 8 a 10 Canales
 - UART Programable
 - Interfaz Serial SPI Maestro/Esclavo

- Características Especiales del Microcontrolador
 - Circuito de Reset
 - Fuentes de Interrupción Internas y Externas
- Consumo de Energía a 4 MHz, 3V, 20°C
 - Activo: 6.4 mA
 - Modo Ocioso: 1.9 mA
 - Modo Desactivado: <1 μ A
- 32 Líneas de Entrada-Salida Programables
- Voltajes de Operación:
 - VCC: 4.0 - 6.0V
- Grado de Velocidad:
 - 0 - 8 MHz



LM318N GENERAL PURPOSE OPERATIONAL AMPLIFIER

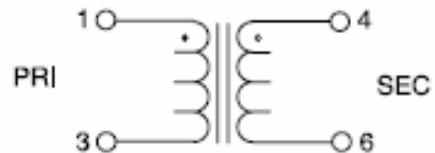
- Small Signal Bandwidth . . . 15 MHz Typ
- _ Slew Rate . . . 50 V/ μ s Min
- _ Bias Current . . . 250 nA Max (LM118, LM218)
- _ Supply Voltage Range . . . ± 5 V to ± 20 V
- _ Internal Frequency Compensation
- _ Input and Output Overload Protection
- _ Same Pin Assignments as General-Purpose Operational Amplifiers



TRANSFORMADOR DE PULSOS PT4003

Las características del transformador utilizado en el circuito de acoplamiento elaborado dentro de este trabajo son:

Relación de Vueltas:	1 : 1
Inductancia:	0.03mH
Rango de Frecuencias	1 – 30MHz



Las características con las que debe contar un transformador que se vaya a utilizar en un sistema CSRE son:

- o Bajas pérdidas de inserción
- o Nula distorsión de onda
- o Excelentes características de transmisión de energía
- o Buen nivel de aislamiento
- o Una inductancia entre 10 μ H y 2mH
- o Una respuesta en frecuencia de acuerdo a las características del sistema (frecuencia de operación).

2N2905A

SWITCHING TRANSISTOR PNP

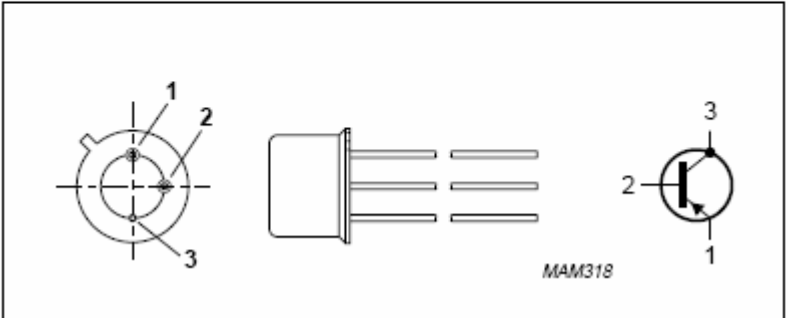
FEATURES

- High current (max. 600 mA)
- Low voltage (max. 60 V).

APPLICATIONS

- High-speed switching
- Driver applications for industrial service.

PIN	DESCRIPTION
1	emitter
2	base
3	collector, connected to case



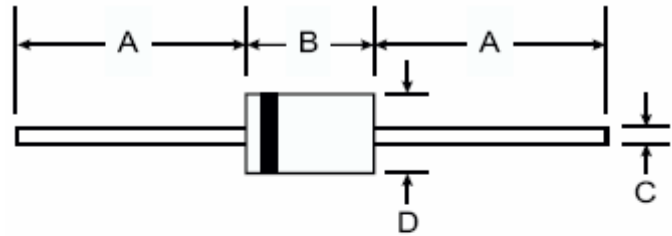
SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{CBO}	collector-base voltage	open emitter	–	–60	V
V_{CEO}	collector-emitter voltage	open base	–	–40	V
	2N2905		–	–60	V
	2N2905A		–	–60	V
I_C	collector current (DC)		–	–600	mA
P_{tot}	total power dissipation	$T_{amb} \leq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$	–	600	mW
h_{FE}	DC current gain	$I_C = -150\text{ mA}; V_{CE} = -10\text{ V}$	100	300	
f_T	transition frequency	$I_C = -50\text{ mA}; V_{CE} = -20\text{ V}; f = 100\text{ MHz}$	200	–	MHz
t_{off}	turn-off time	$I_{Con} = -150\text{ mA}; I_{Bon} = -15\text{ mA}; I_{Boff} = 15\text{ mA}$	–	300	ns

1N4148 / 1N4448

FAST SWITCHING DIODE

Features

- Fast Switching Speed
- General Purpose Rectification
- Silicon Epitaxial Planar Construction



Mechanical Data

- Case: DO-35
- Leads: Solderable per MIL-STD-202, Method 208
- Polarity: Cathode Band
- Marking: Type Number
- Weight: 0.13 grams (approx.)

DO-35		
Dim	Min	Max
A	25.40	—
B	—	4.00
C	—	0.60
D	—	2.00
All Dimensions in mm		

Maximum Ratings @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	1N4148	1N4448	Unit
Non-Repetitive Peak Reverse Voltage	V_{RM}	100		V
Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage	V_{RRM} V_{RWM} V_R	75		V
RMS Reverse Voltage	$V_{R(RMS)}$	53		V
Forward Continuous Current (Note 1)	I_{FM}	300	500	mA
Average Rectified Output Current (Note 1)	I_O	150		mA
Non-Repetitive Peak Forward Surge Current @ $t = 1.0\text{s}$ @ $t = 1.0\mu\text{s}$	I_{FSM}	1.0 2.0		A
Power Dissipation (Note 1) Derate Above 25°C	P_d	500 1.68		mW mW/ $^\circ\text{C}$
Thermal Resistance, Junction to Ambient Air (Note 1)	$R_{\theta JA}$	300		K/W
Operating and Storage Temperature Range	T_J, T_{STG}	-65 to +175		$^\circ\text{C}$

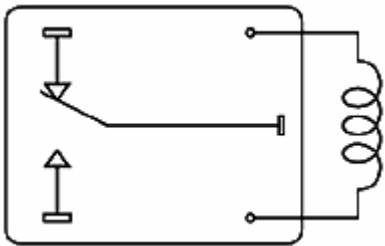
Electrical Characteristics @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit	Test Condition
Maximum Forward Voltage 1N4148 1N4448 1N4448	V_{FM}	— 0.62 —	1.0 0.72 1.0	V	$I_F = 10\text{mA}$ $I_F = 5.0\text{mA}$ $I_F = 100\text{mA}$
Maximum Peak Reverse Current	I_{RM}	—	5.0 50 30 25	μA μA μA nA	$V_R = 75\text{V}$ $V_R = 70\text{V}, T_J = 150^\circ\text{C}$ $V_R = 20\text{V}, T_J = 150^\circ\text{C}$ $V_R = 20\text{V}$
Capacitance	C_j	—	4.0	pF	$V_R = 0, f = 1.0\text{MHz}$
Reverse Recovery Time	t_{rr}	—	4.0	ns	$I_F = 10\text{mA}$ to $I_R = 1.0\text{mA}$ $V_R = 6.0\text{V}, R_L = 100\Omega$

SUN HOLD RAS-0610



Diagrama de Conexión

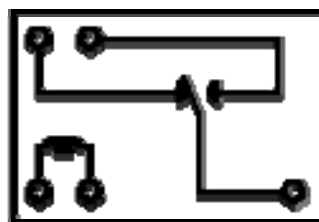


NOMINAL VOLTAGE (VDC)	COIL RESISTANCE (Ω) (+/- 10%)	POWER CONSUMPT -ION (W)	NOMINAL CURRENT (mA) (+/- 10%)	PULL IN VOLTAGE (VDC)	DROP OUT VOLTAGE (VDC)	MAX. ALLOWABLE VOLTAGE (VDC)		
3V	25 Ω	0.36W	120 mA	75 % MAX.	10 % MIN.	130 %		
5V	69 Ω		72 mA					
6V	100 Ω		60 mA					
9V	225 Ω		40 mA					
12V	400 Ω		30 mA					
18V	900 Ω		20 mA					
24V	1600 Ω		15 mA					
36V	3600 Ω		10 mA					
48V	4500 Ω	0.51W	10.6 mA	65 %	8 %	110 %		
12V (M type)	225 Ω	0.64W	53.3 mA					
Rated Carrying Current		AC 120V 10A AC 250V 7A DC 24V 10A						
Max. Allowable Current		15A						
Max. Allowable Voltage		AC 240V DC 110V						
Max. Current (continual)		10A						

SUN HOLD THD-0501L



Diagrama de Conexión



NOMINAL VOLTAGE (VDC)	COIL RESISTANCE (Ω) (+/- 10%)	POWER CONSUMPT-ION (W)	NOMINAL CURRENT (mA) (+/- 10%)	PULL IN VOLTAGE (VDC)	DROP OUT VOLTAGE (VDC)	MAX. ALLOWABLE VOLTAGE (VDC)
3V	45 Ω	0.2W	66.7 mA	70% MAX.	10 % MIN.	130 %
5V	120 Ω		41.7 mA			
6V	180 Ω		33.3 mA			
9V	400 Ω		22.5 mA			
12V	700 Ω		17.0 mA			
24V	2800 Ω		8.6 mA			
Rated Carrying Current		DC 24V 3A DC 30V 1A AC 120V 2A				
Max. Allowable Current		3A				
Max. Allowable Voltage		AC 120V DC 60V				
Max. Current (continual)		3A				
Min. Load		DC 1V 1mA				

SUN HOLD MD-5

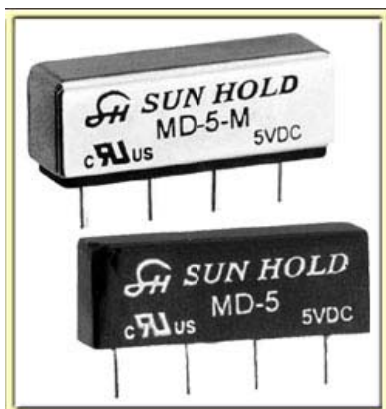
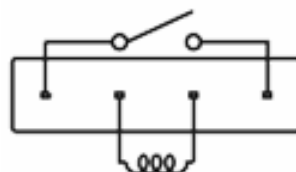


Diagrama de Conexión



NOMINAL VOLTAGE (VDC)	COIL RESISTANCE (Ω) (+/- 10%)	POWER CONSUMPTION (W)	NOMINAL CURRENT (mA) (+/- 10%)	PULL IN VOLTAGE (VDC)	DROP OUT VOLTAGE (VDC)	MAX. ALLOWABLE VOLTAGE (VDC)
5V	500 Ω	0.5W	10 mA	3.75V	0.8V	15V
12V	1000 Ω	0.144W	12 mA	8.6V	0.6V	30V
Rated Carrying Current		DC 20V 0.5A AC 20V 0.5A DC 100V 0.1A AC 100V 0.1A				
Max. Allowable Current		1A				
Max. Allowable Voltage		DC 100V AC 100V				
Max. Current (continual)		0.5A				
Max. Switching Power		10W, 10VA				
Max. Switching Voltage		DC 200V				
Max. Switching Current		0.5A				