

MÓDEM PLC

**NÉSTOR JAVIER CORREA GRANADOS
JORGE HUMBERTO FLOREZ BALLESTEROS**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA
2008**

MÓDEM PLC

**NÉSTOR JAVIER CORREA GRANADOS
JORGE HUMBERTO FLOREZ BALLESTEROS**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Ingeniero
Electrónico**

**Director
Raúl Restrepo Agudelo
Ingeniero Electricista**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA
2008**

Nota de aceptación:

El documento presentado a continuación fue calificado y aprobado por los jurados nombrados por el comité académico, bajo las normas vigentes de la Universidad.

Firma del Presidente de Jurado
Aléx Alberto Monclou Salcedo

Firma del Jurado
Juan Carlos Villamizar Rincón

Firma del Jurado
Omar Pinzón Ardila

Bucaramanga, 27 de marzo de 2008

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos especialmente a la empresa “Grupo R&O” por la facilitación de los equipos para las pruebas y el cubrimiento total del costo del proyecto.

Expresamos nuestro agradecimiento al Ing. Raúl Restrepo Agudelo por la dirección y atención prestada durante el desarrollo del proyecto.

Así mismo, queremos agradecer al comité de investigaciones y jefe de carrera el Ing. Alex Alberto Monclou Salcedo, quienes nos facilitaron el laboratorio para la realización de las pruebas.

CONTENIDO

pág.

INTRODUCCIÓN	12
1. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDEM PARA LA TECNOLOGÍA PLC	13
1.1 PROPÓSITOS DEL PROYECTO	13
1.2 JUSTIFICACIÓN	13
1.3 OBJETIVOS	14
1.3.1 Objetivo general	14
1.3.2 Objetivos Específicos	14
2. MARCO TEÓRICO	15
2.1 DISEÑO DEL MÓDEM: ASPECTOS GENERALES	15
2.1.1 Descripción	15
2.1.2 Protocolos estándares desarrollados	15
2.1.3 Canal de comunicación	16
2.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MODEM	19
2.2.2 Descripción	19
2.2.3 Métodos de modulación	20
2.2.4 Acoplamiento con la red eléctrica de baja tensión	22
2.3 DISEÑOS Y CONSTRUCCIÓN DEL MODEM: PRACTICA	25
2.3.1 Descripción	25
2.3.2 Expectativas	25
2.3.3 Sistemas de Transmisión y Recepción	26
2.3.3.1 Modulación y Demodulación FSK	26
2.3.3.2 Amplificación de la señal	28
2.3.3.3 Red de Acoplamiento	29
2.3.4 Pruebas del Sistema de Transmisión y Recepción	31
2.3.4.1 Pruebas del Módem con la Red Aislada (sin carga y distancia variable)	32
2.3.4.2 Pruebas del módem con la red aislada (con carga resistiva de 100w constante y distancia variable).	32
2.3.4.3 Pruebas del módem con la red aislada (con carga resistiva variable y distancia constante)	33
2.3.4.4 Pruebas del módem con la red aislada (con cargas no lineales)	35
2.3.4.5 Pruebas con el módem para la transmision de datos de un pc a otro pc por la red aislada con diferentes cargas (lineales y no lineales)	35

2.3.4.6 Pruebas finales con los contadores	38
2.3.5 Control de la comunicación entre Módems	40
2.4 MEDIDORES ELECTRÓNICOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA	40
2.4.1 Descripción	40
2.4.2 Sistema electrónico de medición de energía eléctrica	40
2.4.2.1 Tipos de medidores	41
2.4.2.2 Concentrador	43
2.4.2.3 Software Central	43
2.4.2.4 Especificaciones de los Medidores Electrónicos	43
3. CONCLUSIONES	47
BIBLIOGRAFIA	50
WEB GRAFIA	51
ANEXOS	52

LISTA DE CUADROS

	pág.
<u>Cuadro 1. Frecuencias Utilizadas para la Modulación</u>	27
<u>Cuadro 2. Resultados de las pruebas</u>	39
<u>Cuadro 3. Medidor monofásico con comunicación de datos</u>	43
<u>Cuadro 4. Medidor monofásico básico</u>	44
<u>Cuadro 5. Medidor bifásico</u>	44
<u>Cuadro 6. Medidor trifásico</u>	45
<u>Cuadro 7. Trama de datos</u>	46
<u>Cuadro 8. Datos en Memoria RAM</u>	47
<u>Cuadro 9. Datos en Memoria EEPROM</u>	47

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Localización de bandas de frecuencia en Norteamérica.	18
Figura 2. Localización de bandas de frecuencia en Europa.	19
Figura 3. Diagrama de la operación PSK.	21
Figura 4. Diagrama de la operación FSK.	22
Figura 5. Acople con núcleo de ferrita	24
Figura 6. Acople con Transformador	24
Figura 7. Acople Capacitivo	24
Figura 8. Diagrama de bloques de sistema de comunicaciones PLC	26
Figura 9. Oscilograma de la entrada tren de pulsos y la salida del modulador FSK.	27
Figura 10. Oscilograma de la Señal Original	28
Figura 11. Oscilograma de la Señal Amplificada	29
Figura 12. Circuito de Acople en el Transmisor	29
Figura 13. Circuito de Acople en el Receptor	30
Figura 14. Oscilograma de la Señal Obtenida de la REBaT por el circuito Receptor	30
Figura 15. Fotografía de la Red Construida	31
Figura 16. Voltaje en el Receptor sin carga	32
Figura 17. Voltaje en el Receptor con carga	33
Figura 18. Voltaje en el Receptor con carga variable	34

<u>Figura 19. Diagrama de pruebas con cargas No Lineales en Red Aislada</u>	<u>34</u>
<u>Figura 20. Diagrama de pruebas con cargas No Lineales en el mismo toma eléctrico del Transmisor</u>	<u>35</u>
<u>Figura 21. Diagrama de pruebas con cargas Lineales y No Lineales en el mismo toma eléctrico del Transmisor</u>	<u>36</u>
<u>Figura 22. Diagrama de pruebas con cargas No Lineales en el mismo toma eléctrico del Receptor</u>	<u>37</u>
<u>Figura 23. Diagrama de pruebas con cargas Lineales y No Lineales en el mismo toma eléctrico del Receptor</u>	<u>37</u>
<u>Figura 24. Diagrama de bloques del sistema de comunicaciones</u>	<u>38</u>
<u>Figura 25. Software Connecting Sockets</u>	<u>39</u>

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Diagrama esquemático de los circuitos	52
<hr/>	
A-1 Circuito Modulador FSK	
A-2 Circuito Demodulador FSK	
A-3 Circuito del Amplificador y Filtro Activo	
A-4 Circuito de Amplificación	
A-5 Red de Acople	
A-6 Circuito del Relé	
Anexo B. Cálculos para la Selección de Componentes	57
<hr/>	
B-1 Cálculos del XR2206	
B-2 Cálculos del XR2211	
B-3a Cálculos del TL084 como Filtro Activo	
B-3b Cálculos del TL084 como Amplificador	
Anexo C. Documentación de pruebas finales	63
<hr/>	

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: MÓDEM PLC

AUTOR(ES): JORGE HUMBERTO FLOREZ BALLESTEROS
NÉSTOR JAVIER CORREA GRANADOS

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Electrónica

DIRECTOR(A): Raúl Restrepo Agudelo

RESUMEN

La comunicación utilizando la red eléctrica de baja tensión se ha convertido en una opción viable gracias a que se puede utilizar la infraestructura ya existente de la red eléctrica como medio para la transmisión de información. Una aplicación para este tipo de comunicación es la lectura remota de contadores de energía eléctrica, por tal motivo existe la necesidad de diseñar y construir Módems genéricos para dicha aplicación. El objetivo de esta tesis de grado fue el diseñar y construir un Módem para esta tecnología, dando a conocer todo el proceso de diseño y escogencia de los diferentes elementos y/o dispositivos que lo componen. Se realizaron una serie de pruebas con los Módems en conjunto con los contadores para observar y analizar el efecto de las cargas y características cambiantes de la red sobre la comunicación.

PALABRAS CLAVES: Comunicación, Red Eléctrica de Baja Tensión, Información, Módem, Transmisión, Contadores.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: PLC MODEM

AUTOR(ES): JORGE HUMBERTO FLOREZ BALLESTEROS
NÉSTOR JAVIER CORREA GRANADOS

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Electrónica

DIRECTOR(A): Raúl Restrepo Agudelo

RESUMEN

The communication using the low power electric network has become a viable option thanks to the existing infrastructure of the electric network. An application for this type of communication is the remote data reading from electric energy counters, because of this there's a need for building and designing generic Modems for this application. The objective of this thesis was the design and the construction of a Modem for this technology, showing the whole process of design and the selection of components. The Modems in joint with the energy counters were test to analyze the effect of the electric network changing characteristic and loads.

PALABRAS CLAVES: Communication, Low Power Electric Network, Data, Modem, Counters.

V°B°DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

INTRODUCCIÓN

Una de las dificultades que se presentan en la comunicación por la red eléctrica es la construcción de Módems a bajo precio, pues bien, existen módems como el Módem CEBus del orden de los \$200 dólares y el Módem LonWorks, cuyo valor oscila por los \$1000 dólares aproximadamente.

Este tipo de comunicación encuentra aplicaciones como el control de dispositivos en el hogar (Domótica), lectura remota de contadores (AMR), Internet de Banda Ancha por la red eléctrica (BPL), entre otras. Existe, por lo tanto, interés en desarrollar módems PLC genéricos, es decir, que puedan funcionar con cualquier protocolo.

El presente proyecto de grado se ha enfocado en la lectura de contadores electrónicos, específicamente, los que se están desarrollando a nivel nacional por una Empresa Incubada Colombiana, en este caso, el Grupo R&O, la cual se interesó en nuestro proyecto.

1. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDEM PARA LA TECNOLOGÍA PLC

1.1 PROPÓSITOS DEL PROYECTO

Dados los avances tecnológicos en la última década en el campo de las telecomunicaciones y la búsqueda de optimización en los sistemas de comunicaciones (de manera que estos sean de fácil acceso y no presenten precios muy elevados), la tecnología PLC ha llegado a ser una opción viable y económica cuando se pretende encontrar una solución a la transmisión de cierta cantidad específica de información o señales de control para la automatización del hogar (Domótica). El propósito principal del proyecto es la construcción de un Módem de bajo costo que pueda ser aplicado en diferentes campos, pero principalmente, para la lectura remota de contadores electrónicos.

Este Módem permitirá la comunicación entre dos o más dispositivos, utilizando la red eléctrica de baja tensión como medio de transporte de la señal (información). En el caso de los contadores electrónicos, la información transportada estará conformada por los datos de las lecturas del consumo de energía de los hogares durante un periodo de tiempo determinado.

Así mismo, se pretende que el desarrollo de este Módem sirva para su futuro mejoramiento y optimización y pueda ser aprovechado por los estudiantes en investigaciones futuras en el campo de las telecomunicaciones.

1.2 JUSTIFICACIÓN

En los anteriores proyectos desarrollados en la Universidad Pontificia Bolivariana – UPB - sobre la tecnología PLC, se han utilizado Módems disponibles comercialmente, sin ser diseñado algunos en la actualidad por los grupos de trabajo.

Por esta razón, la justificación del siguiente proyecto radica en el diseño, el desarrollo y las pruebas del primer Módem PLC desarrollado por un grupo de

trabajo de la UPB y su implementación en una red compuesta por varios de estos Módems.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general.

Diseñar y construir un Módem para la tecnología PLC.

1.3.2 Objetivos Específicos.

- Determinar los criterios de diseño más importantes para la construcción de la red de acoplamiento entre el módem y la red eléctrica de baja tensión.
- Diseñar y construir los módems PLC genéricos.
- Implementar un protocolo de comunicaciones para la red propuesta.
- Determinar las características operativas del sistema.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MÓDEM: GENERALIDADES

2.1.1 Descripción. Las comunicaciones por la Red Eléctrica de Baja Tensión (REBaT) ha sido un área de estudio y desarrollo en el sector de las comunicaciones durante varios años pero no ha ido a la par con los últimos avances, debido a que otros sistemas ofrecen unas mejores prestaciones. Los sistemas PLC encuentran su mejor aplicación comercial en la Domótica (automatización del hogar), utilizando métodos bastantes simples en su diseño para emplearlos con fines domésticos.

2.1.2 Protocolos Estándares Desarrollados. Existe un buen número de sistemas disponibles comercialmente para propósitos de automatización del hogar. Los más populares son:

X10: Es un sistema electrónico de control que utiliza las líneas eléctricas existentes (110V ó 220V) para transmitir señales de control entre equipos de automatización del hogar, dando una orden acerca de la operación que debe realizarse sobre determinado dispositivo. Para el cumplimiento de este proceso, se cuenta con la presencia de cuatro elementos básicos que, en conjunto, dan origen a este sistema electrónico: un transmisor, un receptor, la línea de alimentación/transmisión y el mensaje ó código que se quiere enviar.

El sistema X10 se utiliza para diversas aplicaciones, desde controlar en forma remota el encendido y apagado de una lámpara, hasta el manejo computarizado de todo el sistema eléctrico y electrónico de una casa, con base en un programa preestablecido que responda automáticamente a ciertas condiciones ambientales o de tiempo. Además de ser un sistema de control, también se puede configurar como un sistema sofisticado de seguridad muy fácil de instalar, pues bien, al utilizar el alambrado eléctrico existente no requiere de conexiones adicionales, lo que constituye una dificultad en los sistemas de alarmas convencionales.

CEBus o Consumer Electronics Bus: Está basado en el concepto de LAN (Local Área Network) para el hogar y proporciona protocolos estándares para RF (Radio Frecuencia), Par Trenzado, PLC, entre otros medios de comunicación de redes

caseras. La norma CEBus PLC especifica que un dígito binario se representa dependiendo de la duración de una ráfaga de frecuencia aplicada en el canal. Es decir que en CEBus, la duración de un (1) lógico es diferente de la duración de un cero (0) lógico. En consecuencia, la rata de transmisión de CEBus varía de acuerdo con la cantidad de caracteres (1 ó 0) transmitidos. La norma especifica un lenguaje de controles orientados a objetos, incluyendo comandos para subir o bajar volumen, subir un grado de temperatura, etc.

LonWorks: Es una plataforma de gestión de redes creada para ayudar a la fiabilidad; la instalación y el mantenimiento que se necesita en aplicaciones de control de dispositivos. Esta plataforma está construida sobre un protocolo de bajo ancho de banda, efectuada por Echelon Corporation, para el trabajo de redes sobre diferentes medios, como la REBaT, entre otros.

UPB o Universal Powerline Bus: Es una tecnología que ofrece una alternativa confiable y estable a los estándares tradicionales PLC. Inventado y licenciado por PCS Powerline Systems of Northridge - California - y lanzado en 1999. UPB resuelve casi todos los problemas que se pueden experimentar con otras tecnologías PLC.

2.1.3 El Canal de Comunicación. La REBaT como canal de comunicaciones es un medio muy hostil que no ha sido diseñado para este propósito. Debido a esto, existen muchos inconvenientes y limitaciones como el acople de impedancias, las limitaciones de ancho de banda y especialmente el ruido. Es por ello, que es necesario tener en cuenta ciertas consideraciones, tales como: la impedancia ZL del canal de comunicación, a la cual deben acoplarse tanto el transmisor como el receptor; en el transmisor debe tenerse en cuenta la impedancia de salida Zo, mientras que en el receptor importa la impedancia de entrada Zi.

1) *El Ruido:* Las causas más comunes del ruido en redes de energía eléctrica incluyen la descarga por efecto corona (un fenómeno de ionización producido alrededor de los conductores en las redes de alta y media tensión), rayos, bancos de corrección de factor de potencia y operaciones de apertura de circuitos. De acuerdo con su comportamiento, el ruido puede clasificarse de la siguiente manera:

- ◆ Ruido sincronizado con la frecuencia de la red (Ruido Tipo A). Causado por dispositivos controlados por tiristores.
- ◆ Ruido de espectro amplio (Ruido Tipo B). Ocasionado generalmente por la operación de motores universales.

- ◆ Evento simple de ruido impulsivo (Ruido Tipo C). Originado principalmente por la apertura y cierre de contactos eléctricos.
- ◆ Ruido periódico no sincronizado con la frecuencia de la red (Ruido Tipo D). Producido, principalmente, por los monitores de computadores y televisores, y por las fuentes conmutadas de alta frecuencia.

2) *Atenuación*: La red eléctrica ocasiona atenuación a las señales que están siendo transmitidas por este medio. Algunos de los principales motivos son:

- ◆ La característica inductiva en serie que presenta el tendido de los cables. A medida que aumenta la frecuencia de la señal información, la atenuación es mayor.
- ◆ La existencia de multirutas a lo largo y ancho de las redes. Debido a esto, múltiples copias de la misma señal que pueden estar desfasadas, pueden llegar al mismo destino ocasionando la pérdida parcial o total de la información.

3) *Impedancia*: La impedancia característica del cable de potencia no cargado puede obtenerse mediante un modelo estándar de parámetros distribuidos y dado por:

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

En las frecuencias que son de interés para PLC esto se puede aproximar a:

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

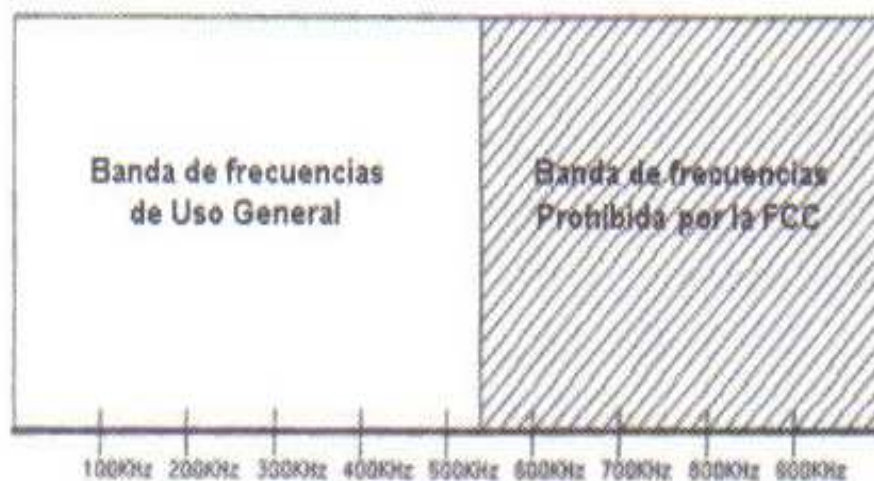
En donde L y C son la inductancia y la capacitancia de la línea por unidad de longitud. La principal dificultad que se presenta en el momento de acoplar el transmisor y el receptor con la red eléctrica de baja tensión es el ajuste de la impedancia de la red, la cual toma valores que son demasiado bajos, variables con la frecuencia y permanentemente cambiantes con el tiempo.

Las impedancias totales de la red son muy difíciles de predecir. L Schaap habla de valores desde 0.1Ω hasta 2Ω para las redes de baja tensión, Klaus Dostert indica que la impedancia está entre 2Ω y 150Ω , mientras que, Malack y Engstrom presentan resultados entre 0Ω y 80Ω . Es claro que la impedancia del canal es muy baja, lo que presenta retos significativos en el momento del diseño del acople con la red.

De acuerdo con la teoría de líneas de transmisión y con lo establecido por el teorema de máxima transferencia de potencia, para lograr la máxima transferencia de potencia y evitar la reflexión de la señal, es necesario que en el lado del transmisor exista una igualación de impedancias con la red eléctrica. Adicionalmente, Klaus Dostert recomienda que en el lado del receptor se presente un acoplamiento débil con el fin de lograr una buena atenuación del ruido.

3) *Limitaciones de ancho de banda:* Los organismos reguladores (FCC en Norteamérica y CENELEC en Europa) han impuesto estrictas restricciones al uso de la red eléctrica como medio de comunicación, limitando fuertemente el ancho de banda disponible para ello. Para esto, han definido las bandas de frecuencia que se muestran en las figuras 1.1 y 1.2.

Figura 1. *Localización de bandas de frecuencia en Norteamérica.*



Fuente: tomado de *La Red Eléctrica de Baja Tensión como Medio de Comunicación (Revista Científica UPB. Vol. 2).*

Figura 2. Localización de bandas de frecuencia en Europa.



Fuente: tomado de *La Red Eléctrica de Baja Tensión como Medio de Comunicación* (Revista Científica UPB. Vol. 2).

La Subparte B 15.113 de la Parte 15 de las “Reglas y Regulaciones de la FCC” clasifica las comunicaciones PLC como “Dispositivos de Radiación Involuntaria”, y, en consecuencia, hay muy pocas regulaciones aplicables a ellos que no requieren licencia o registro.

2.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MÓDEM: ASPECTOS TEÓRICOS

2.2.2 Descripción.

En el diseño de cualquier sistema de comunicaciones es necesario tener en cuenta varios aspectos, tales como: técnicas de modulación, métodos de transmisión, recepción, etc. En las comunicaciones PLC hay que tener especial cuidado con lo mencionado anteriormente, puesto que la red eléctrica es un medio muy hostil.

2.2.3 Métodos de Modulación.

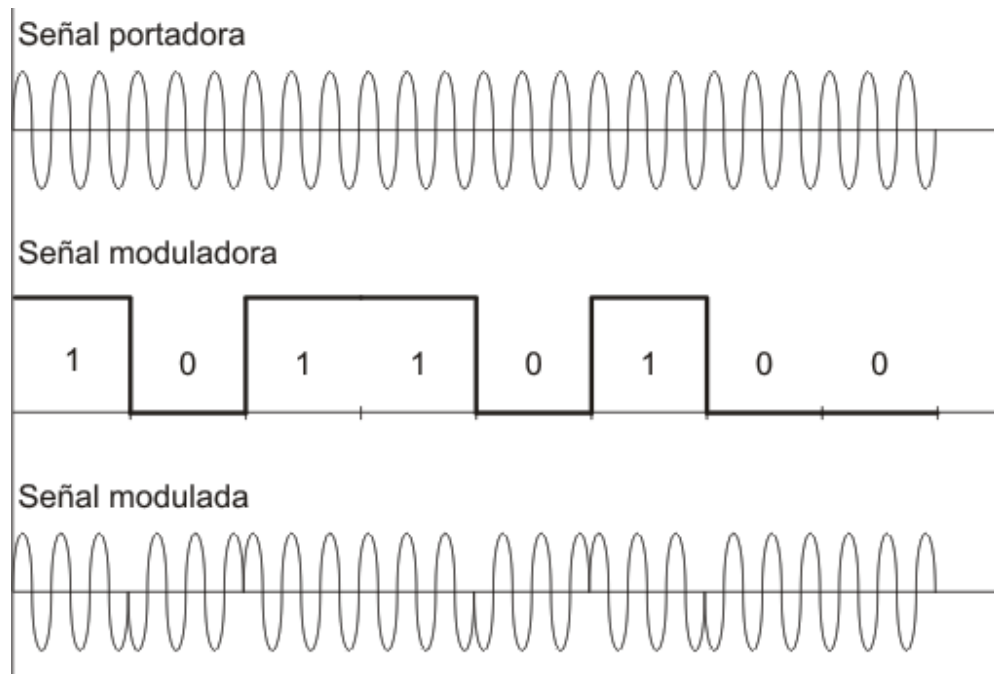
Existen varios métodos de modulación para transmisión digital, entre los que se encuentra la modulación de amplitud en cuadratura (QAM), ASK, FSK y PSK. Debido al comportamiento aleatorio de la red eléctrica de baja tensión, las mejores opciones para comunicaciones PLC son las modulaciones FSK y PSK, las cuales presentan esquemas simples y robustos.

PSK (Phase Shift Keying ó Codificación por Cambio de Fase)

La PSK es una modulación donde la fase de la portadora varía dependiendo del valor lógico de la entrada, mediante el cual el valor lógico "1" representa una fase y "0" otra fase. A medida que los estados lógicos cambian, la fase varía entre ángulos desfasados de 180° entre sí, manteniéndose así constante la frecuencia de la portadora.

La codificación por cambio de fase se representa como: Salida = $(\text{Sen } w_a t) (\text{Sen } w_c t)$, en donde w_a es la frecuencia fundamental de la señal moduladora binaria y w_c es la frecuencia de la portadora no modulada.

Figura 3. Diagrama de la operación PSK.



Fuente: tomado de la pagina web <http://www.textoscientificos.com/imagenes/redes/modulacion-PSK.gif>

FSK (Frequency Shift Keying ó Codificación por Cambio de Frecuencia)

La modulación FSK es una forma de modulación FM en donde la frecuencia de la portadora se modifica mediante la entrada binaria. Como la entrada binaria cambia de un "0" lógico a un "1" lógico y viceversa, la salida FSK cambia entre dos frecuencias: una "marca" o frecuencia de "1" lógico y un "espacio" o frecuencia del "0" lógico. En la figura 2.2 "Diagrama de la operación FSK", se muestra una forma de onda FSK.

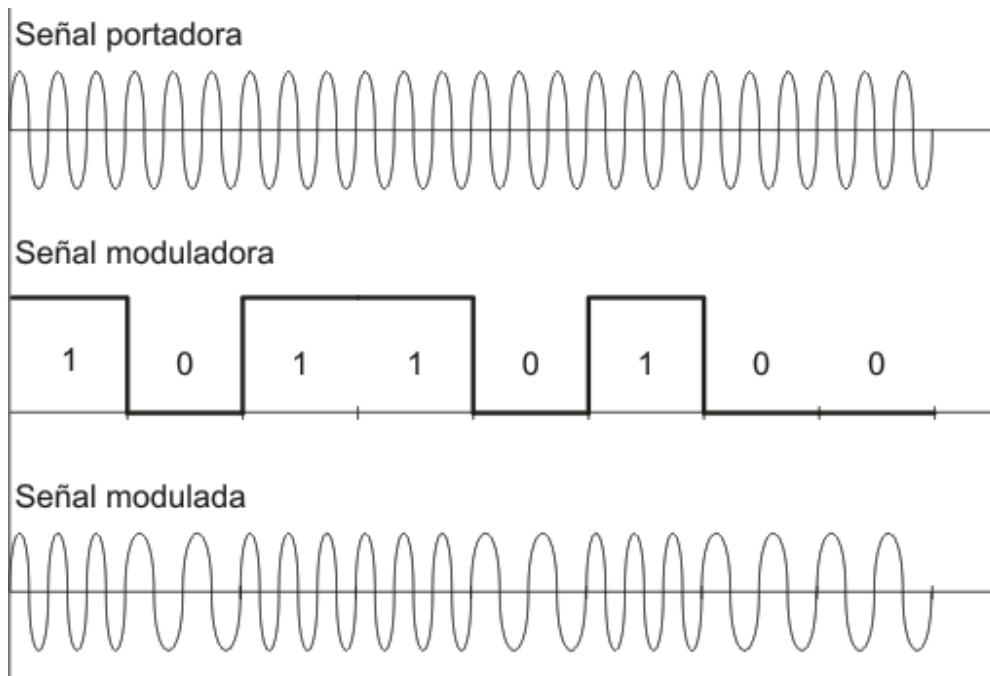
La expresión general de la señal binaria FSK es:

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

En donde:

- $v(t)$ = Forma de onda FSK binaria.
- V_c = Amplitud pico de la portadora no modulada.
- ω_c = Frecuencia portadora en rad/seg.
- $v_m(t)$ = Señal moduladora digital binaria.
- $\Delta\omega$ = Cambio en rad/seg de la frecuencia de salida.

Figura 4. Diagrama de la operación FSK.



Fuente: tomado de la pagina web <http://www.textoscientificos.com/imagenes/redes/modulacion-FSK.gif>

Se escogió el FSK como esquema de modulación, teniendo en cuenta los diferentes trabajos e investigaciones que se han desarrollado a nivel institucional, local e internacional, donde se muestra que la señal modulada en PSK en un ambiente como la red eléctrica presenta retardos de fase de forma impredecible. Por esta razón, la modulación FSK se acomoda mejor para transmitir, debido a que la información es transportada en la frecuencia de la portadora y los cambios de fase no afectan.

2.2.4 Acoplamiento con la Red Eléctrica de Baja Tensión.

La primera etapa de diseño del Módem PLC consiste en determinar el tipo de acople con el cual se va a trabajar. Existen diferentes formas de acoplar un circuito a la red. Las más utilizadas se mencionan a continuación:

1) *Acople con transformadores de IF (Frecuencia Intermedia):* Este tipo de acople proporciona una buena interfaz con la red, logrando aislar físicamente el circuito del Módem de la corriente AC (haciendo más fácil su instalación) y proporcionando

una buena preamplificación de la señal debido a la relación de transformación del mismo. El problema de este tipo de acople radica en que estos transformadores de IF son difíciles de conseguir en grandes cantidades en nuestro medio.

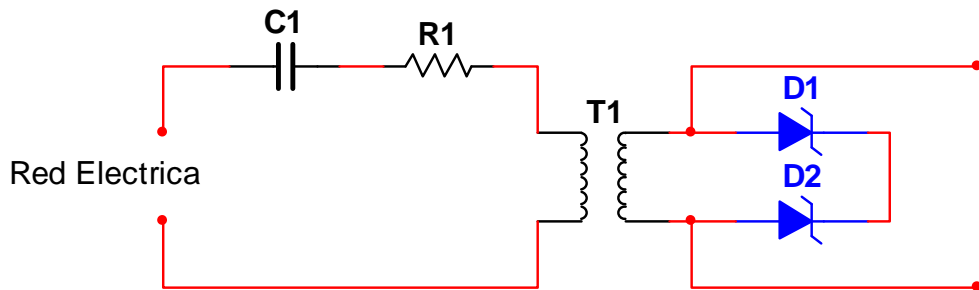
2) *Acople con núcleos de ferrita*: Este tipo de acople es tal vez el mejor que se puede implementar dado que los núcleos ofrecen una guía casi perfecta del campo magnético con una baja desviación del campo, siendo esencial para lograr un acoplamiento rígido con la red. El problema con este tipo de acople surge cuando se quieren conseguir núcleos con características requeridas, debido a que en el mercado Colombiano es muy difícil conseguir hasta los núcleos de ferritas más sencillos.

3) *Acople capacitivo*: Este tipo de acople se presenta como la opción más atractiva debido a que proporciona un buen acople con la red y como sólo está compuesto por condensadores y resistencias, no es un problema encontrar estos elementos en el mercado Colombiano. El problema principal que se encuentra con este tipo de acople es la mayor atenuación comparada con otros tipos de acople, debido a la capacitancia.

En el lado del receptor es importante que el acople tenga unas características de filtro pasaaltos para bloquear la frecuencia de la red de 60Hz y dejar pasar la frecuencia de la portadora (generalmente está en el orden de los Kilohertz). Al acople del receptor también se le pueden dar características pasabanda, pero en nuestro diseño se implementó un postfiltrado de la señal con un filtro pasabanda, eliminando la necesidad de tener el acople con características pasabanda.

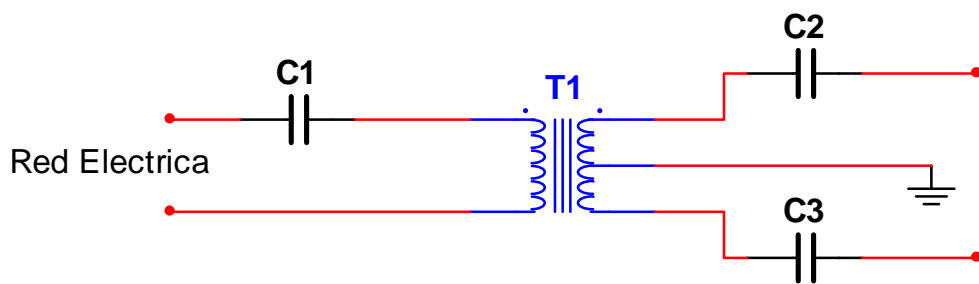
Así mismo, por el lado del transmisor es necesario que el acople tenga características de pasaaltos con el fin de que la señal de información se transmita sin atenuación. En este sentido, este acople se hizo con características pasabanda como protección para evitar la entrada de señales desde la red hacia el transmisor que puedan ocasionar distorsión de la señal o el mal funcionamiento del mismo. Este sistema deberá tener un acople óptimo de impedancia con la red para lograr la máxima transferencia de energía y reducir las señales reflejadas. La figura 2.3 (a, b y c) muestra los diferentes tipos de acoplamiento descritos.

Figura 5. Acople con núcleo de ferrita



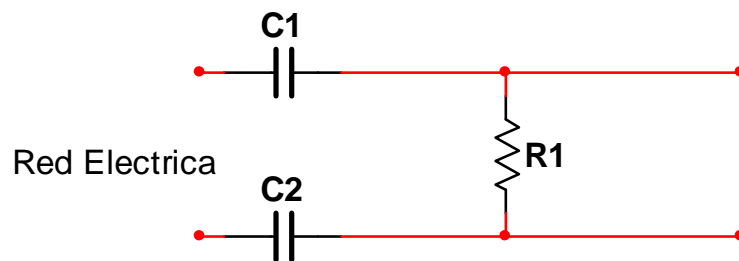
Fuente: autores del proyecto

Figura 6. Acople con Transformador



Fuente: autores del proyecto

Figura 7. Acople Capacitivo



Fuente: autores del proyecto

1.3 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MÓDEM: IMPLEMENTACIÓN PRÁCTICA.

2.3.1 Descripción.

En esta parte del libro se detalla la implementación práctica de un sistema de comunicaciones utilizando el Módem PLC. Se habla de una manera más detallada acerca de los métodos utilizados para cumplir con las recomendaciones de diseño del sistema hechas en la sección anterior, abarcando los elementos escogidos y los circuitos utilizados.

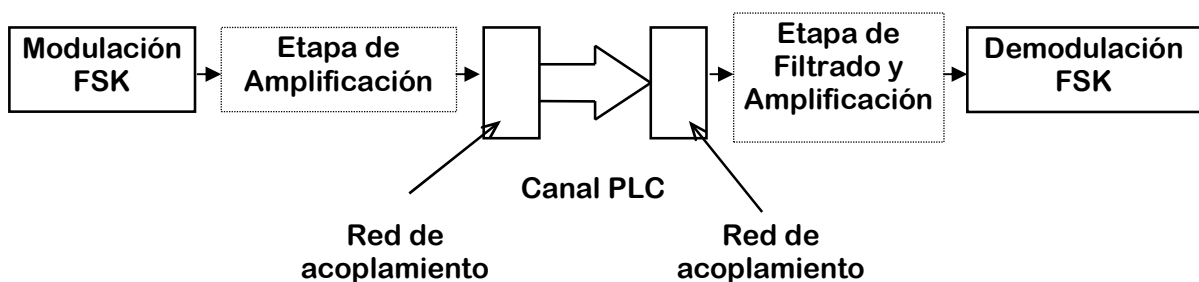
2.3.2 Expectativas.

Los objetivos originales de este proyecto consistían en la elaboración de un Módem PLC y su implementación en una red con múltiples nodos para propósitos generales, independientemente del protocolo que se utilice para transmitir los datos. En el transcurso del proyecto se presentó la oportunidad de trabajar con el “Grupo R&O”, una empresa creada por dos egresados de la Universidad Pontificia Bolivariana, que desarrolla y construye contadores electrónicos. Por esta razón, el proyecto se enfocó en la construcción de los Módem para ser usados por los contadores como una opción de comunicación para la recolección de información de los mismos contadores.

Para esto, el proyecto se encaminó hacia la construcción de un enlace entre dos contadores electrónicos, utilizando una interfase TTL entre los dos dispositivos (Módem-Contador) y se trazó como objetivo una velocidad de transmisión de 1200 Baudios para obtener una mejor comunicación. Se construyeron dos Módems, los cuales permiten una comunicación Half-Duplex (conectándose cada uno con un contador), mediante un protocolo diseñado por el “Grupo R&O”.

2.3.3 Sistemas de Transmisión y Recepción

Figura 8. Diagrama de bloques de sistema de comunicaciones PLC



2.3.3.1 Modulación y Demodulación FSK.

Considerando un sistema confiable y de fácil implementación, se eligió la modulación FSK, que constituye un esquema de modulación muy robusto frente a las interferencias que se pueden encontrar en un medio tan hostil como lo es la red eléctrica de baja tensión.

Se encontró que, para diseñar un sistema de comunicaciones FSK y lograr la modulación, resulta apropiado utilizar un circuito integrado oscilador controlado por voltaje (VCO) como lo es el XR2206, mientras que para la demodulación se encontró que una muy buena opción es utilizar un circuito integrado PLL (Phase Locked Loop). Los circuitos del modulador y demodulador se muestran en el Anexo A y los cálculos para la respectiva selección de componentes se muestran en el Anexo B.

Un VCO produce una señal AC con una frecuencia de salida directamente proporcional al voltaje de entrada DC. Usando una señal binaria como entrada al VCO, se puede variar la frecuencia de la portadora de salida produciendo, de esta manera, una modulación FSK. Las frecuencias del sistema se diseñaron teniendo en cuenta la normativa de la FCC, que se muestran a continuación:

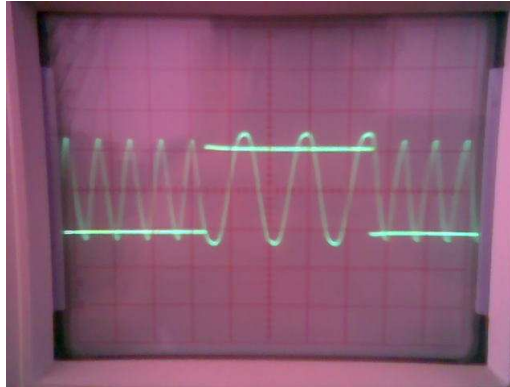
Cuadro 1. Frecuencias Utilizadas para la Modulación

Frecuencia	Valor Lógico
150 Khz	1
300 Khz	0

Fuente: autores del proyecto

El montaje y prueba de este circuito se llevó a cabo en protoboard, sin presentar ningún inconveniente. Se utilizó un LM555 para generar un tren de pulsos rectangulares como entrada y la frecuencia de oscilación fue de 1200Khz. Se confirmó que las frecuencias correspondientes para cada valor lógico correspondían con las calculadas. Para asegurarnos de esto, se superpusieron las señales de entrada y salida en el osciloscopio como se muestra en la Figura 3.2, comprobando así, que la señal era estable.

Figura 9. Oscilograma de la entrada tren de pulsos y la salida del modulador FSK.



Fuente: *autores del proyecto*

Para la demodulación se utilizó el circuito integrado XR2211. Este PLL intenta mantener enganchada una frecuencia con su señal de entrada. La operación del PLL es, a groso modo, como sigue: Cuando la señal de entrada cambia de frecuencia, ocurre una señal de error en el PLL, la cual hace modificar su frecuencia, intentando acoplarse de nuevo a la frecuencia de entrada. Mediante una sintonización cuidadosa del PLL a la mitad de las frecuencias de marca "1" y espacio "0", se puede usar su señal de error como una demodulación FSK.

Se probó el desempeño del circuito integrado XR2211 inyectando directamente en su entrada la señal FSK (producida por el XR2206 con un tren de pulsos) del modulador para poder sintonizar el demodulador con las frecuencias que se iban a utilizar. Esto se logra variando el valor de resistencia de un potenciómetro de 50K Ω . Se observó que este dispositivo PLL es muy sensible a estos cambios de resistencia haciendo el trabajo de sintonización de especial cuidado para lograr un mejor desempeño óptimo del XR2211.

2.3.3.2 Amplificación de la señal.

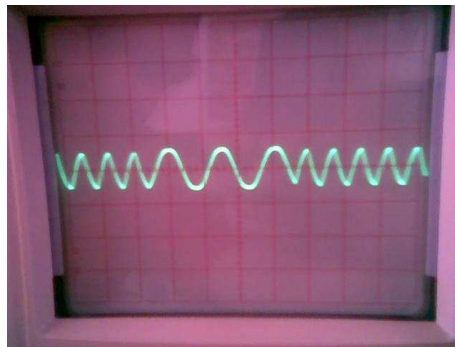
Para el sistema de amplificación del transmisor, la señal modulada en FSK pasa por una etapa de amplificación muy sencilla pero ideal para este tipo de aplicaciones, pues se obtiene una muy buena amplificación y baja impedancia a la salida, disponiendo así de una señal con buena potencia para poder ser inyectada en la red de baja tensión.

Para dicha amplificación se utilizó un amplificador transistorizado en configuración inversora, compuesto por un solo transistor BJT NPN. Esta selección se hizo

después de haber probado con diferentes configuraciones y clases de amplificadores. El circuito amplificador se encuentra en el Anexo A y los cálculos en el Anexo B.

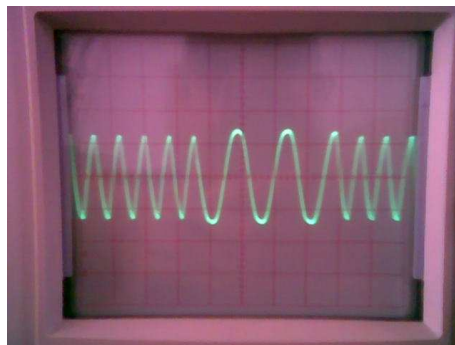
Se hicieron diversas pruebas utilizando el amplificador antes mencionado y se comparó su desempeño con respecto a otros amplificadores. Se observó que un amplificador de audio proporciona una potencia de salida mayor, comparada con un amplificador a transistor; pero cuando se ensayó con el acople capacitivo y la red eléctrica de baja tensión no funcionó adecuadamente, observándose una gran distorsión en la señal FSK, sin capturar nada en el receptor.

Figura 10. Oscilograma de la Señal Original



Fuente: *autores del proyecto*

Figura 11. Oscilograma de la Señal Amplificada

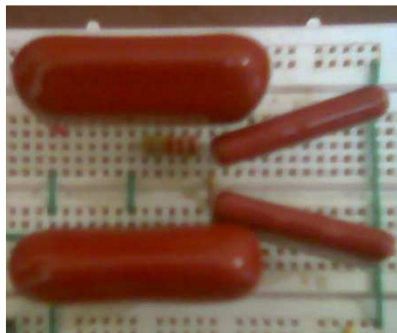


Fuente: *autores del proyecto*

2.3.3.3 Red de acoplamiento.

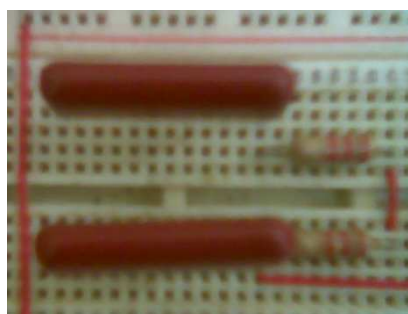
Siguiendo la topología básica observada en la Figura 2.3c, se implementó un acoplamiento capacitivo para nuestro diseño. Los condensadores utilizados en el dispositivo de acoplamiento se escogieron especialmente para crear un efecto pasa-banda en el lado del transmisor (el cual consta de 3 resistencias y 4 condensadores) y un efecto pasa-altos en el lado del receptor (el cual consta de 2 resistencias y 2 condensadores). Los condensadores son de un voltaje alto ya que están conectados directamente a la red. El esquema actual del acoplador se muestra en el Anexo A y los cálculos en el Anexo B.

Figura 12. Circuito de Acople en el Transmisor



Fuente: *autores del proyecto*

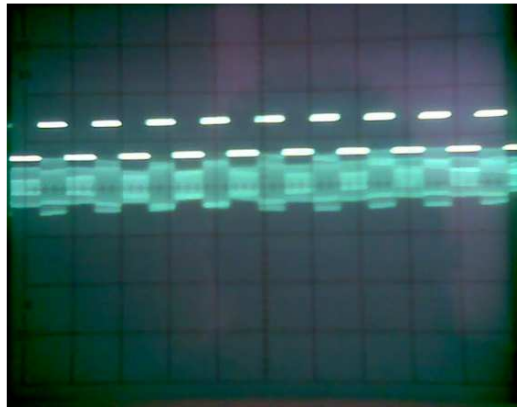
Figura 13. Circuito de Acople en el Receptor



Fuente: *autores del proyecto*

La primera prueba que se realizó después de haber montado el circuito de acople en el transmisor y el receptor fue transmitir un tren de pulsos modulado en FSK a través de la red eléctrica de baja tensión a una distancia de 10 metros para su posterior demodulación.

Figura 14. Oscilograma de la Señal Obtenida de la REBaT por el circuito Receptor



Fuente: autores del proyecto

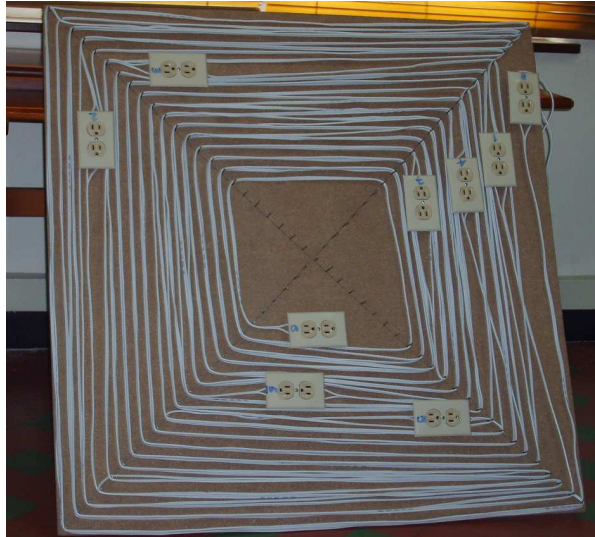
En la Figura 14 se muestra la señal recibida y demodulada por el circuito receptor. En la parte superior de la figura se observa la señal demodulada y en la parte inferior se muestra la señal obtenida después del acople del receptor.

2.3.4 Pruebas del sistema de transmisión y recepción.

Para la realización de las pruebas se propuso construir una red independiente que se encontrara aislada de toda perturbación o distorsión que la REBaT pudiera presentar. Se diseñó la red aislada utilizando el modelo en caracol, que resulta óptimo para los fines perseguidos.

Posteriormente, se construyó el medio controlado (red aislada) utilizando bobinas a la entrada de la alimentación, tanto en el conductor de la fase como en el neutro, con tomas eléctricos interconectados entre sí a distancias variables. Para la implementación de esta red se utilizaron nueve tomacorrientes dobles con polo a tierra, una tabla de 1metro x 1metro, una caja de puntillas y 90 metros de cable dúplex calibre #14.

Figura 15. Fotografía de la Red Construida

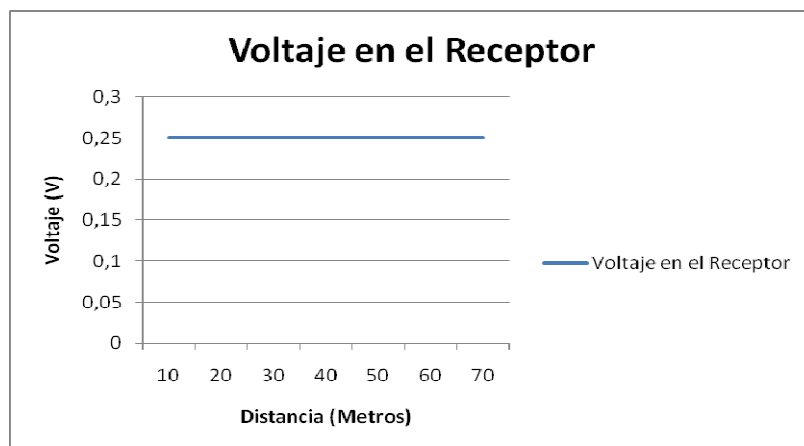


Fuente: autores del proyecto

2.3.4.1 Pruebas del módem con la red aislada (sin carga y distancia Variable).

El transmisor fue conectado en el toma eléctrico 0 y el receptor a diferentes distancias del transmisor (cada 10 metros). Se observaron y se tomaron los datos de voltaje correspondientes a cada distancia. Estos datos se observan en la Figura 16.

Figura 16. Voltaje en el Receptor sin carga



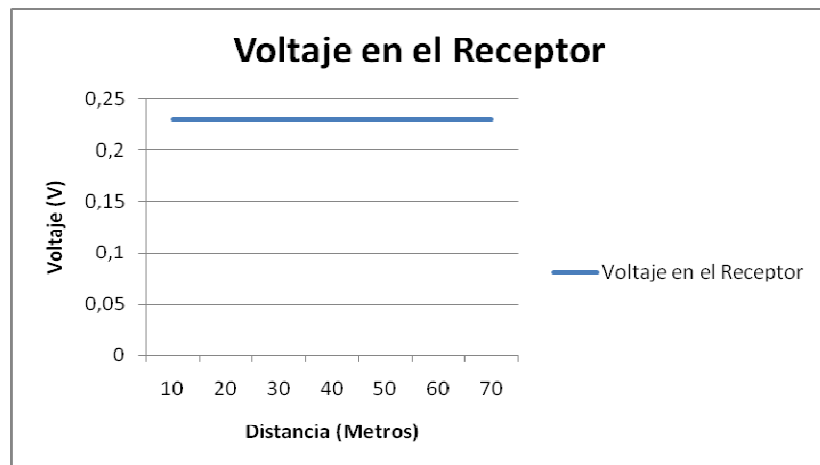
Fuente: autores del proyecto

Se mostró un comportamiento constante en el voltaje del receptor, el cual se mantuvo el voltaje de 0,25 Vpp a lo largo de los 70 metros.

2.3.4.2 Pruebas del módem con la red aislada (con carga resistiva de 100w constante y distancia variable).

El transmisor fue conectado en el toma eléctrico 0 y el receptor en el toma eléctrico 7. Se fue variando la posición de la carga cada 10 metros del transmisor hasta llegar a la posición del receptor. Se observaron y se tomaron los datos de voltaje correspondientes a cada distancia. Estos datos se observan en la Figura 17.

Figura 17. .Voltaje en el Receptor con carga

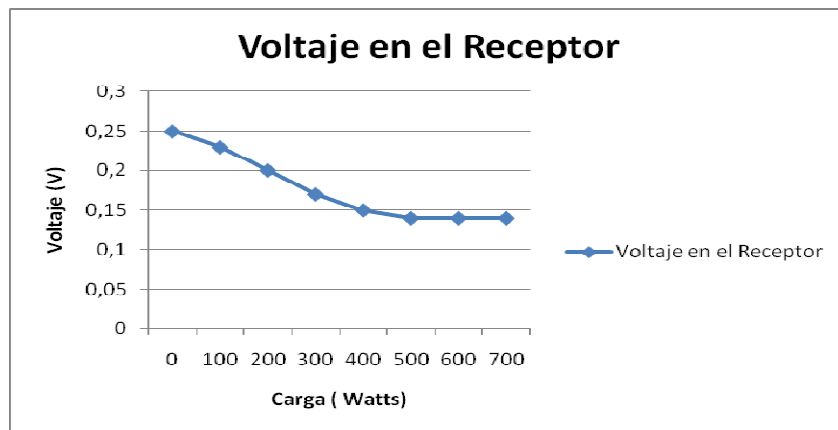


Fuente: autores del proyecto

En la anterior figura podemos observar una atenuación por la carga de 0,02Vpp en el voltaje del receptor, pero el voltaje se mantuvo a medida que se cambiaba la posición de la carga.

2.3.4.3 Pruebas del módem con la red aislada (con carga resistiva variable y distancia constante). El transmisor fue conectado en el toma eléctrico 0 y el receptor en el toma eléctrico 7, se fue variando el valor de la carga, aumentándola 100W para cada toma de datos. Se observaron y se tomaron los datos de voltaje correspondientes a cada variación de la carga. Estos datos se observan en la Figura 18.

Figura 18. Voltaje en el Receptor con carga variable

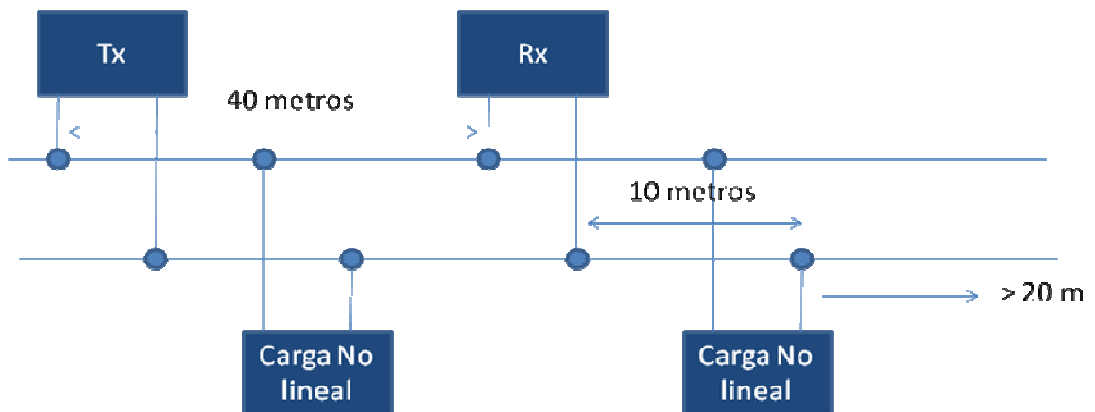


Fuente: autores del proyecto

Se observó un comportamiento decreciente en el voltaje del receptor con una tendencia lineal en los valores de la carga entre 0 y 400 vatios; para valores de 500 vatios en adelante la atenuación no es perceptible, por lo cual, se asume un comportamiento constante para valores superiores.

Otras pruebas se hicieron conectando cargas después del receptor donde se observó que la atenuación disminuye considerablemente a medida que la carga se aleja del receptor.

Figura 19. Diagrama de pruebas con cargas No Lineales en Red Aislada



Fuente: autores del proyecto

2.3.4.4 Pruebas del módem con la red aislada (con cargas no lineales).

En la Figura 19 se observa un bosquejo de las pruebas que se realizaron con cargas no lineales en la red aislada. En la primera prueba se ubicó la carga no lineal (Contador Electrónico con núcleo de ferrita) entre el transmisor y el receptor, los cuales estaban separados 40 metros uno del otro. El voltaje, observado en el receptor, presentó una atenuación y una distorsión considerable, impidiendo tomar valores de voltaje.

Posteriormente, se hicieron pruebas ubicando la carga no lineal a diez (10) metros después del receptor. La distorsión y la atenuación de la señal disminuyeron considerablemente, al punto de que, si la carga se ponía a más de 20 metros después del receptor, la incidencia en la señal obtenida en el receptor era mínima aunque perceptible.

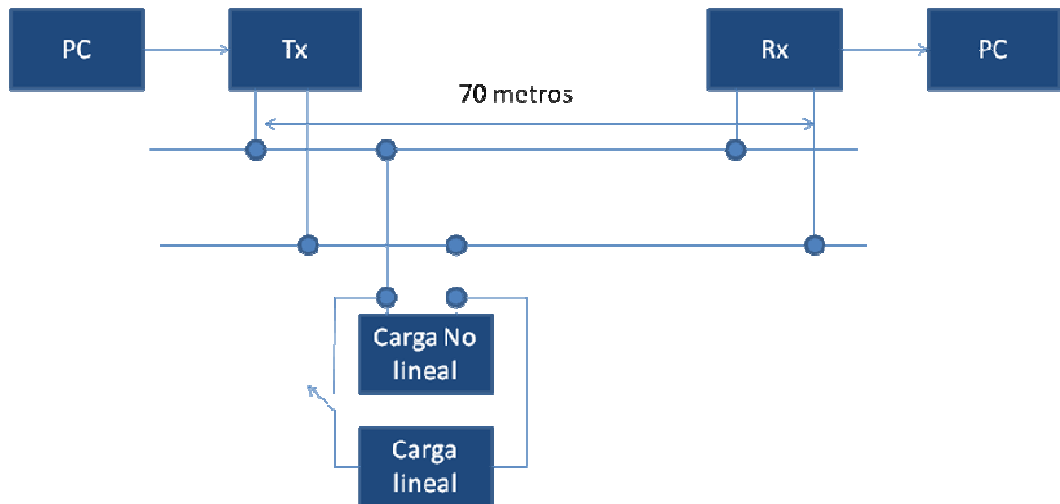
2.3.4.5 Pruebas con el módem para la transmisión de datos de un pc a otro pc por la red aislada con diferentes cargas (lineales y no lineales)

- Prueba sin Carga.

Se transmitieron datos de un PC a otro sin ningún error en la transmisión, a velocidades desde 100 baudios hasta 2400 baudios.

- Prueba con carga no lineal en el mismo toma eléctrico del Transmisor.

Figura 20. Diagrama de pruebas con cargas No Lineales en el mismo toma eléctrico del Transmisor

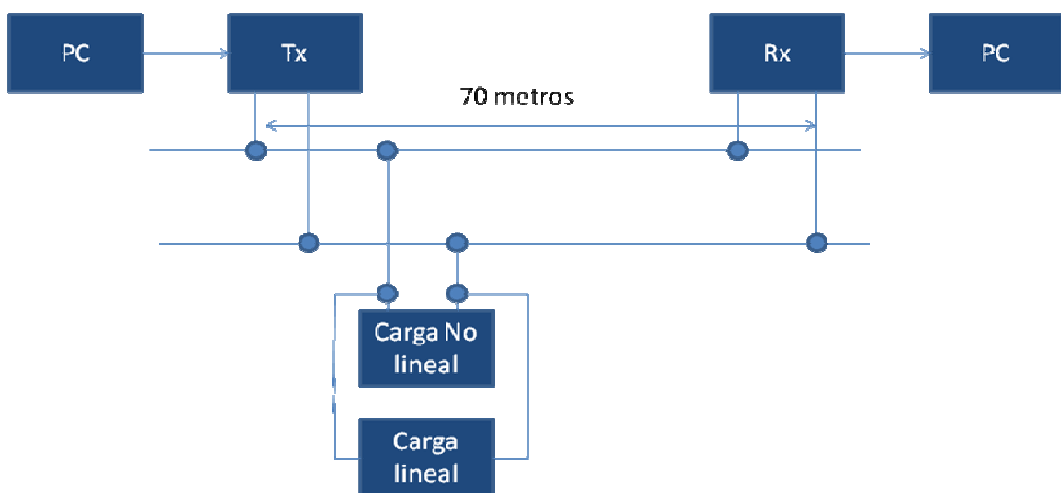


Fuente: autores del proyecto

Los datos recibidos por el PC corresponden a los enviados. Se observó que entre más lenta sea la transmisión (200 baudios), el error en los datos será menor que cuando se transmite a velocidades altas (2400 baudios en adelante).

- Prueba con carga no lineal y carga lineal en el mismo toma eléctrico del Transmisor.

Figura 21. Diagrama de pruebas con cargas Lineales y No Lineales en el mismo toma eléctrico del Transmisor

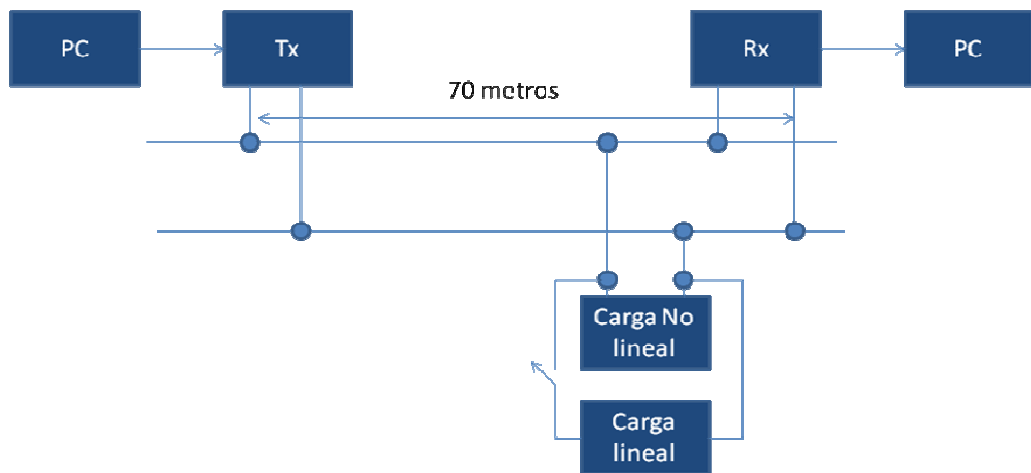


Fuente: autores del proyecto

Los datos recibidos por el PC no corresponden a los transmitidos y en la mayoría de las veces no se recibe ningún dato.

- Prueba con carga no lineal en el mismo toma eléctrico del Receptor.

Figura 22. Diagrama de pruebas con cargas No Lineales en el mismo toma eléctrico del Receptor

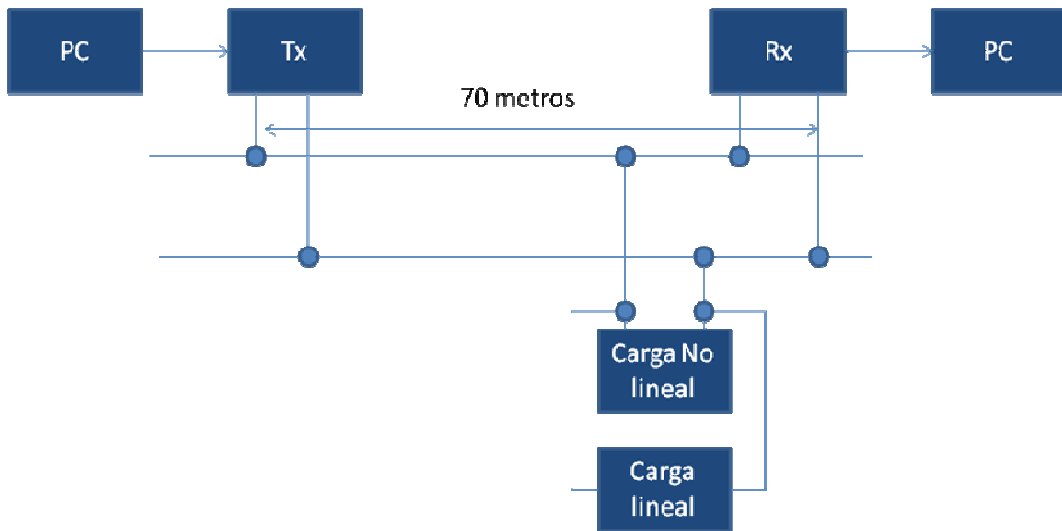


Fuente: autores del proyecto

Los datos recibidos por el PC no corresponden a los transmitidos y en la mayoría de las veces no se recibe ningún dato.

- Prueba con carga no lineal y carga lineal en el mismo toma eléctrico del Receptor.

Figura 23. Diagrama de pruebas con cargas Lineales y No Lineales en el mismo toma eléctrico del Receptor



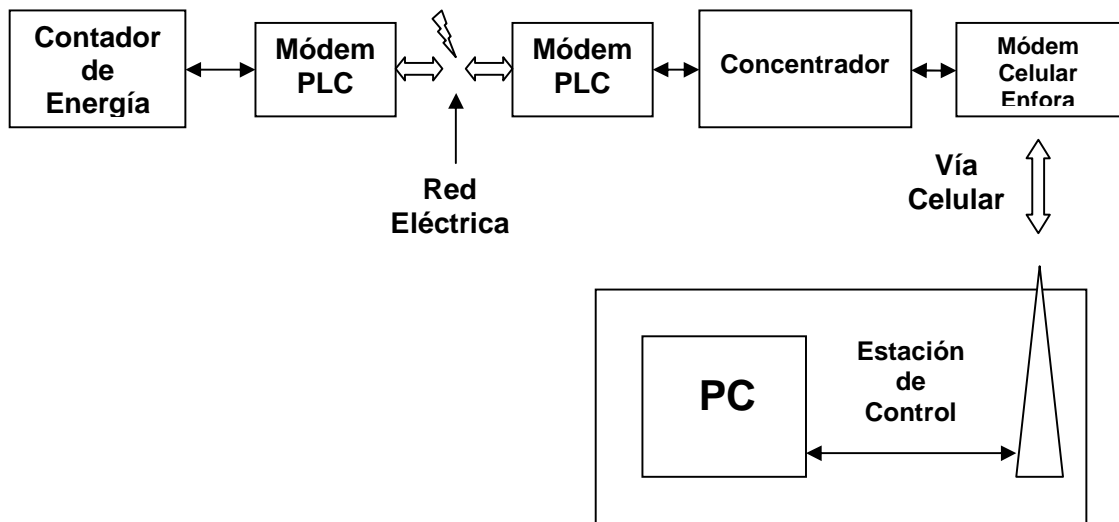
Fuente: autores del proyecto.

Los datos recibidos por el PC corresponden en su mayoría a los enviados. Se observa que, a medida que se aumenta la carga lineal (Bombillos), mejor se reciben los datos en el PC. Una posible solución que se sugirió al problema de la atenuación y distorsión por parte de esta carga no lineal (Contador Electrónico), es poner una inductancia (calculada adecuadamente) para bloquear la frecuencia de 58Khz que el contador refleja a la red, la cual está afectando la comunicación.

Dado los resultados de estas pruebas, se tomó la decisión de aumentar la potencia de la señal transmitida a la red por el amplificador y aumentar la ganancia del amplificador post-filtro del receptor. Después de haber realizado dichos ajustes, la calidad de la señal obtenida en el receptor mejoró notoriamente.

2.3.4.6 Pruebas finales con los contadores.

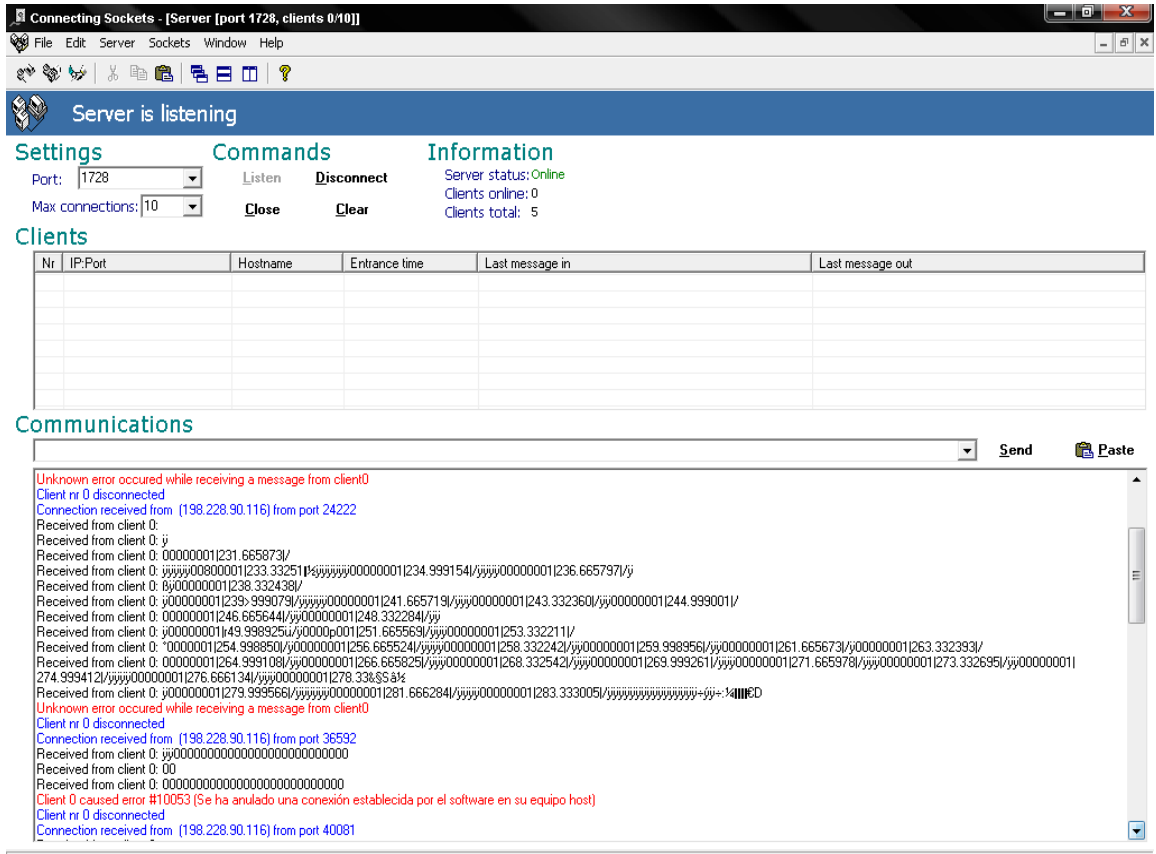
Figura 24. Diagrama de bloques del sistema de comunicaciones.



Fuente: autores del proyecto

Después del rediseño del Módem que consistió en aumentar la amplificación del trasmisor y la ganancia en el receptor, se realizó la prueba final con el nuevo diseño. En la Figura 24 se observa un esquema de la prueba en la cual el contador envía los datos de lectura de energía a una Estación de Control donde estos son registrados a través de un PC con el Software Connecting Sockets (Figura 25 muestra el registro de algunos de los datos).

Figura 25. Software Connecting Sockets.



Fuente: Grupo R&O

Cuadro 2. Resultados de las pruebas.

Distancia(metros)	Total Caracteres	Errores	Errores %
10	252	3	1.19%
20	252	3	1.19%
30	252	3	1.19%
40	252	1	0.39%
50	252	60	23.8%
60	252	18	7.14%
70	630	13	2.06%
80	609	64	10.5%

Fuente: autores del proyecto

2.3.5 Control de la comunicación entre Módems.

Cada Módem debe tener la capacidad de enviar y recibir datos de la red, por lo tanto, cada dispositivo consta de dos acoples independientes (uno para el transmisor y otro para el receptor). Este objetivo debe ser alcanzado utilizando las mismas frecuencias de portadora en todos los Módems, obligando a que la comunicación entre dos o más dispositivos se realice de forma Half-Duplex. Es decir, que un Módem no puede estar recibiendo y enviando datos a la REBaT al mismo tiempo, puesto que esto causaría interferencia debido a que los Módems están sintonizados a la misma frecuencia.

Se ideó una solución sencilla para lograr la comunicación Half-Duplex entre Módems, la cual consiste en la utilización de un Relé de estado sólido en conjunto con un pequeño circuito de control, con el cual se puede manipular el estado de conmutación del Relé. El circuito para controlar el Relé utiliza un transistor que pasa de corte a saturación y viceversa dependiendo del valor de voltaje en su base. Este valor de voltaje puede variar de 0V (Para Receptor) o 5V (Para Transmisor), dependiendo del modo en que se va a trabajar el Módem. El control lo debe hacer el dispositivo externo al cual el Módem este conectado. En el *Anexo A* se muestra el esquema del circuito.

2.4 MEDIDORES ELECTRÓNICOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

2.4.1 Descripción.

El Módem PLC fue diseñado especialmente para la aplicación de lectura remota de contadores electrónicos. Se trabajó en conjunto con la empresa Grupo R&O creada por egresados de la Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Bucaramanga. En este capítulo se escribirán brevemente las características y especificaciones de los contadores electrónicos fabricados por dicha empresa, junto con el protocolo utilizado para la comunicación entre contadores.

2.4.2 Sistema electrónico de medición de energía eléctrica.

Un sistema electrónico digital de medición de energía está compuesto por un equipo medidor de energía de alta precisión, control antifraude, medición siempre positiva, multitarifa, entre otras. También se cuenta con un equipo concentrador para almacenamiento de datos de los medidores conectados a él, con módulos de transmisión y recepción de datos, un equipo portátil de descarga local de consumos por vía infrarrojo y un software para análisis y tarificación de los datos descargados desde el equipo concentrador por línea telefónica o sincronización del equipo portátil.

Dentro de los beneficios de los contadores electrónicos se encuentran los siguientes:

- El sistema genera mayor confiabilidad en la medición de energía porque los equipos son de mejor clase que los electromecánicos.
- Los datos almacenados en el medidor permiten llevar un control de la energía consumida por cada usuario en la respectiva hora del día, y así generar medidores multitarifa.
- Los equipos electrónicos reducen a márgenes muy bajos la alteración y fraude de la medida.
- Tecnología de punta que permite futuros desarrollos del sistema de medición.
- Mejor precisión de las mediciones.
- Más compactos y ocupan menos espacio.
- Consumen menos potencia para su funcionamiento.
- Mayor inmunidad al fraude.
- Fácil montaje e instalación.
- Múltiples funciones programables.

- Permiten la implementación de medición remota y supervisión de funcionamiento.
- Facilitan la implementación de programas de ahorro de energía.
- Permiten diversas y variadas configuraciones.
- Fácil y rápida calibración del sitio.

2.4.2.1 Tipos de medidores.

Medidor monofásico: dentro de esta clasificación existen dos tipos de medidores con similares características pero enfocados a diferentes clientes.

a. Medidor monofásico con comunicación de datos: Este modelo fue diseñado para cumplir con funciones de medición de consumos por hora, control de las interrupciones de energía, descarga de datos de manera local por vía infrarroja y remota hacia un equipo concentrador por vía serial y control de alteración y fraude por análisis de datos a través del software central. Posee características eléctricas especialmente diseñadas para el entorno nacional entre las cuales están:

- Corriente de trabajo 10(60)A
- Frecuencia 60 Hz
- Voltaje de referencia 120V
- Sobrecorriente 1800A, sin daño permanente del equipo.
- Clase 1
- Conexión directa.

b. Medidor monofásico básico: Denominado así porque no posee módulos de comunicación ni descarga de datos como el modelo anterior. Las demás características eléctricas y de medición son exactamente iguales. Este modelo fue creado por la necesidad de cumplir con las necesidades de las constructoras que necesitan adquirir un medidor aprobado por la empresa electrificadora pero que no aumente los costos de fabricación de las viviendas.

c. Medidor Bifásico: Este dispositivo está diseñado para cubrir usuarios de mayor consumo que los monofásicos como son las pequeñas empresas, locales con sistemas de refrigeración, casas de recreo y otros usuarios que cumplan con las condiciones de las empresas electrificadoras estipuladas. El medidor se caracteriza por medir fielmente el consumo de energía por cada fase conectada a él sin importar si sus cargas están o no balanceadas. Al igual que los demás medidores posee módulos de descarga de datos de manera local y remota y posee las siguientes características eléctricas:

- Corriente de trabajo 10(70)A por fase.
- Frecuencia 60 Hz
- Voltaje de referencia 2x120V/220V
- Sobrecorriente 1800A, por fase sin daño permanente del equipo.
- Clase 1
- Conexión directa.

d. Medidor Trifásico: Diseñado para cubrir el sector industrial, el cual debe realizar mediciones de usuarios que consumen una carga mayor, con características de medición diferentes a los usuarios residenciales o comerciales. Posee iguales características de almacenamiento y descarga de datos. Además de la energía activa debe registrar la energía reactiva con las siguientes características eléctricas.

- Corriente de trabajo 10(70) A por fase.
- Frecuencia 60 Hz
- Voltaje de referencia 3x120V/220V
- Sobrecorriente 1800A, por fase sin daño permanente del equipo.
- Clase 1
- Conexión directa.

2.4.2.2 Concentrador.

Banco de memoria con módulos de comunicación serial y telefónica encargado de almacenar los datos recibidos desde los medidores de manera programada y transmitirlos por línea telefónica a un software central.

2.4.2.3 Software Central.

Es el encargado de establecer la comunicación telefónica con el equipo concentrador para recibir toda la información almacenada y luego procesarla, identificando y separando de manera segura y confiable a cada usuario. A través del equipo portátil se realiza la misma tarea de manera local utilizando la herramienta de sincronización de datos. Una vez almacenada la información en su base de datos el software analiza y crea reportes programables como la cantidad de interrupciones de energía por usuario, la duración de estas, el consumo de energía por hora, por día, resaltando los momentos de mayor consumo, entre otras funciones que pueden ser solicitadas por el usuario del software.

2.4.2.4 Especificaciones de los Medidores Electrónicos.

Cuadro 3. Medidor monofásico con comunicación de datos.

Visualización	LCD de 2 x 16 Líneas
Tipo de conexión	Directa
Clase	1
Voltaje de Referencia	120V
Corriente	10(60)A
Frecuencia	60Hz
Constante	3000imp/kwh

Fuente: Grupo R&O

1 Fase 2 Hilos.

Almacenamiento de energía en unidades de W-h cada hora.

Almacenamiento de la hora y fecha de las interrupciones y restitución del servicio.

Número de identificación único por medidor.

Descarga de datos por vía infrarrojo y/o serial.

Cuadro 4. Medidor monofásico básico

Visualización	Pantalla de 6 dígitos
Tipo de conexión	Directa
Clase	1
Voltaje de Referencia	120V
Corriente	10(60)A
Frecuencia	60Hz
Constante	3000imp/kwh

Fuente: Grupo R&O

1 Fase 2 Hilos.

Cuadro 5. *Medidor bifásico.*

Visualización	LCD de 2x16 líneas
Tipo de conexión	Directa
Clase	1
Voltaje de Referencia	2x120V/220V
Corriente	10(70)A
Frecuencia	60Hz
Constante	3000imp/kwh

Fuente: Grupo R&O

2 Fases 3 Hilos.

Almacenamiento de energía en unidades de W-h cada hora.

Almacenamiento de la hora y fecha de las interrupciones y restitución del servicio.

Número de identificación único por medidor.

Descarga de datos por vía infrarrojo y/o serial.

Cuadro 6. *Medidor trifásico.*

Visualización	LCD de 2x16 líneas
Tipo de conexión	Directa
Clase	1
Voltaje de Referencia	2x120V/220V
Corriente	10(70)A
Frecuencia	60Hz
Constante	3000imp/kwh

Fuente: Grupo R&O

3 Fases 4 Hilos

Almacenamiento de energía en unidades de W-h cada hora.

Almacenamiento de la hora y fecha de las interrupciones y restitución del servicio.

Número de identificación único por medidor.

Descarga de datos por vía infrarrojo y/o serial.

- **Protocolo de Comunicaciones.**

El protocolo de comunicaciones de los medidores consta de una trama de 256 bits por mensaje enviado y recibido. En caso de que los datos no alcancen con la cantidad de bits, se reenvía otro mensaje con los datos restantes.

Cuadro 7. Trama de datos

CAMPO	FUNCION	LONGITUD (Bytes)	EXPLICACION
STX	Indicador del inicio de la transmisión del medidor o dispositivo.	1	0x01 para MODEM PLC , 0x02 para IrDA
ID_FUENTE	Identifica el dispositivo que envia la trama	8	Ejemplo: 128.255.32.1 se codifica 0x80,0x0FF,0x20,0x01
ID_DESTINO	Identifica el dispositivo hacia el cual va dirigida la trama	8	
SECUENCIA	Sirve para identificar la correcta secuencia de recepcion de tramas	1	
COMANDO	Instrucción o comando a enviar hacia el medidor o dispositivo enrutador (concentrador).	1	LEER CONFIGURACION (c): ESCRIBIR CONFIGURACION (C): LEER ESTADO (e): LEER BLOQUE CONSUMO (K): LEER BLOQUE INTERRUPCIONES (I):
ARGUMENTOS DEL COMANDO	Información referente al comando transmitido	235	CMD c: 5 bytes "YY/MM/DD HH:MM:SS\n" actual del sistema "YY/MM/DD HH:MM:SS\n" ultima configuracion del sistema "xxxxxxx\n" MAC del Equipo "x\n" 0: no opera 1: reiniciar energia total "x\n" 0: no opera 1: borrar consumos "x\n" 0: no opera 1: borrar interrupciones/DES/FES CMD e: 62 bytes "YY/MM/DD HH:MM\n" actual del sistema "YY/MM/DD HH:MM\n" ultima descarga de consumo "YY/MM/DD HH:MM\n" ultima descarga de interrupciones Energia Total consumida "xxxxxx\n" Kwh CMD K: 18 bytes por dato "YY/MM/DD HH " fecha de almacenamiento "xxxxx\n" Consumo en Wh CMD I: 36 bytes por dato "YY/MM/DD HH:MM:SS " fecha de inicio interrupcion "YY/MM/DD HH:MM:SS\n" fecha de restitution
CRC	Control de errores de transmision	2	
		256	

Fuente: Grupo R&O.

Cuadro 8. Datos en memoria RAM

Datos en memoria RAM	
Registro	Longitud (Bytes)
MAC	8
Banderas varias	1
Constante medidor	4
Consumo total	4
Consumo ultima hora	4
Punteros interrupciones	2
Punteros consumos	2
Constante Costo kwh	4
Consumo Disponible	4
TOTAL	33

Fuente: Grupo R&O

Cuadro 9. Datos en memoria EEPROM Serial

Datos en memoria EEPROM Serial	
Registro	Longitud (Bytes)
Consumo por horas kwh	18
Fecha del consumo	
Interrupciones	36
Fecha de la interrupción	
Restituciones	
Fecha de la restitución	
TOTAL	54

Fuente: Grupo R&O

3. CONCLUSIONES

La modulación FSK presentó un desempeño aceptable para la aplicación del sistema PLC, cuando se requiere de una solución sencilla a la forma de transportar la información por la REBaT, utilizando circuitos integrados de bajo costo y eficientes que permiten la modulación y demodulación de la señal con muy bajo porcentaje de error con respecto a la señal original. FSK es un sistema robusto frente a las características cambiantes de la REBaT en donde el ruido y la atenuación son factores con los que hay que enfrentarse siempre que se quiera utilizar la red como medio de comunicación.

Todos los dispositivos conectados a la REBaT generan ruido, por lo cual es muy difícil de predecir su comportamiento y la forma en que afectará la señal de información. Por tal motivo, se hizo un estudio acerca de la influencia de diferentes tipos de cargas en la red. Se probó el comportamiento del esquema de modulación FSK, obteniendo resultados satisfactorios a frecuencias iguales o mayores de 150Khz, observando que al aumentar la frecuencia la influencia del ruido sobre la señal disminuye.

Cuando se trabaja con acoples de tipo capacitivo se debe tener especial cuidado con la atenuación de la señal recibida de la red, debido a la característica capacitiva del mismo. Por esta razón, se deben implementar dispositivos de amplificación para el tratamiento de esta señal. Con este tipo de acople es necesario utilizar amplificadores operacionales en el lado del receptor, pues se logra una mejor calidad en la señal. Además, estos circuitos proveen una impedancia alta en la entrada ayudando a que el acople sea más robusto.

Es necesario determinar la velocidad de transmisión con la que un sistema de comunicaciones va a funcionar. Nuestro objetivo fue transmitir a una velocidad entre 1200 baudios y 2400 baudios. Cuando se trabaja con la REBaT, la opción más acertada es a 1200 baudios puesto que obtiene una menor pérdida de información aunque se sacrifique la velocidad.

Como se mencionó anteriormente, existe una restricción con respecto a las frecuencias que se pueden utilizar en la REBaT en América (de acuerdo con lo estipulado por la FCC). Acorde con la normatividad, el Módem PLC construido cumple con los requerimientos de la FCC, trabajando con las frecuencias de 150Khz y 300Khz.

Cuando se quiere utilizar la REBaT como medio de comunicación, se sabe que la información que se está transmitiendo presentará errores. Debido a esto, es indispensable utilizar un protocolo de comunicaciones contenga un método apropiado para la detección y corrección de errores.

Pensando en futuros desarrollos, este Módem PLC puede ser utilizado como punto de partida para su mejoramiento utilizando otras técnicas de modulación (por ejemplo, espectro expandido), permitiendo de esta manera, utilizarlo para una aplicación específica que requiera de una mayor velocidad en la transmisión y a su vez, una alta confiabilidad en la comunicación.

BIBLIOGRAFÍA

➤ Libros:

DOSTERT, Klaus. Powerline Communications. Estados Unidos: Prentice Hall PTR, 2001.

PLATT, Glen. Tesis. Power Line Carrier. Australia: Universidad de Newcastle, 1999.

RESTREPO, Raúl. Tesis de Maestría. Estudio del comportamiento de la red eléctrica en la transmisión de datos. Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana, 2004.

RESTREPO, Raúl, MORA, Yesid, GÓMEZ, Jorge. Trabajo de investigación. Módulo didáctico para el estudio de la tecnología PLC. Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana, 2004.

➤ Artículos:

RESTREPO, Raúl. La Red Eléctrica de Baja Tensión como Medio de Comunicación (Revista Científica Vol. 2). Colombia: Universidad Pontificia Bolivariana, Abril de 2004.

HERNÁNDEZ, Glenn Elmer. Control de Dispositivos a Través del Envío de Datos por la Red Eléctrica (Revista Reset-UTS). Colombia: Unidades Tecnológicas de Santander, Diciembre de 2006.

WEB GRAFÍA

Parte 15 Regulaciones FCC

(online). http://www.fcc.gov/Bureaus/Engineering_Technology/Documents/cfr/1998/47cfr15.pdf

Burns, Terry. IEEE Broadband over Power Line Working Group (online).

<http://grouper.ieee.org/groups/bop/1675.pdf>

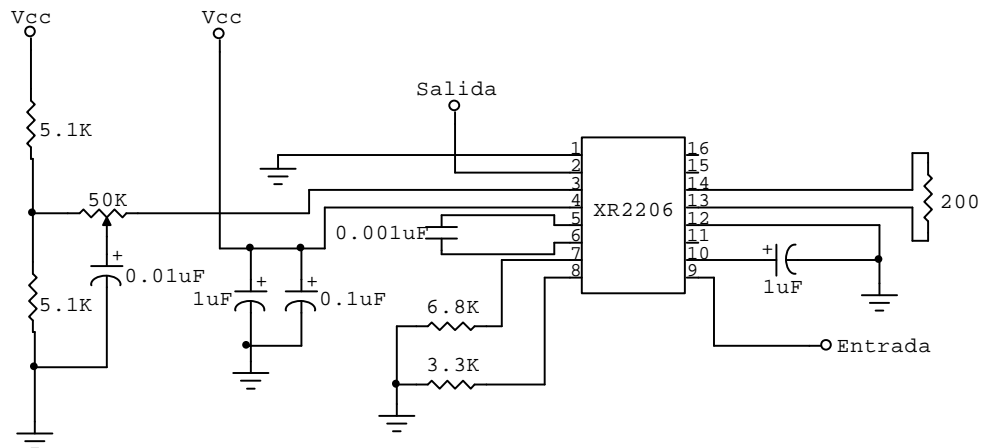
HomePlug Powerline Alliance (online). <http://www.homeplug.org/en/index.asp>

Myvsat. Sojitz Corporation of America. What is PLC? (Online).

<http://www.myvsat.com/s.nl/it.l/id.20/.f;jsessionid=ac112b6b1f43cf57939d6ee2438c8f90813c57d5877f.e3eTa3aSaxmTe3aMc3qMc3yRbi1ynknvrkLOIQzNp65ln0>

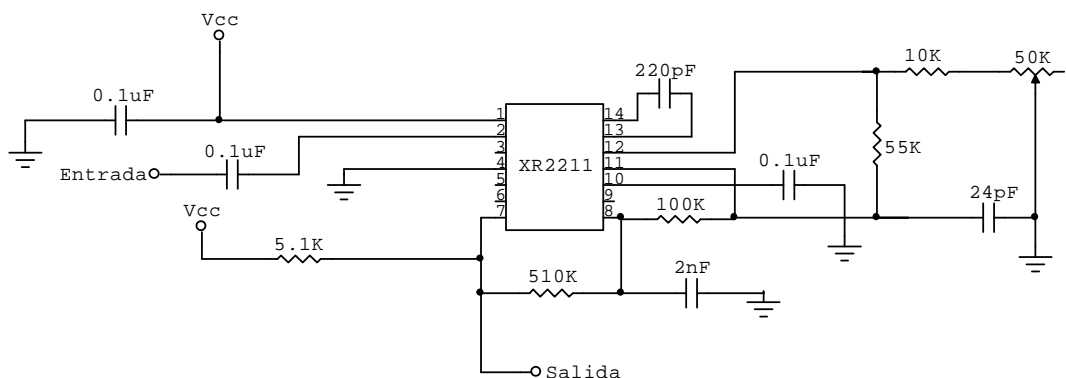
Anexo A. Diagrama esquemático de los circuitos

A-1 Circuito Modulador FSK



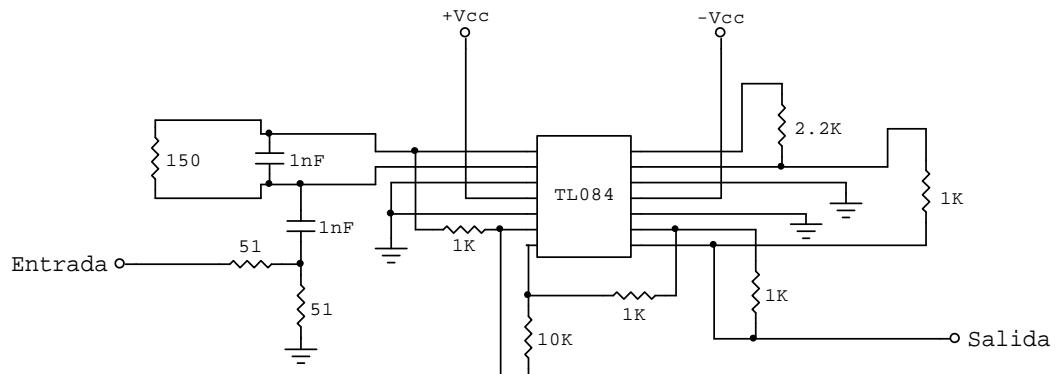
La modulación FSK se realiza mediante el generador de funciones XR2206, este circuito integrado es un Oscilador Controlado por Voltaje (VCO). Las resistencias en los pines 7 y 8 determinan las frecuencias de marca y espacio; con el divisor de voltaje ubicado en el pin 3 es posible variar la amplitud de la señal de salida.

A-2 Circuito Demodulador FSK



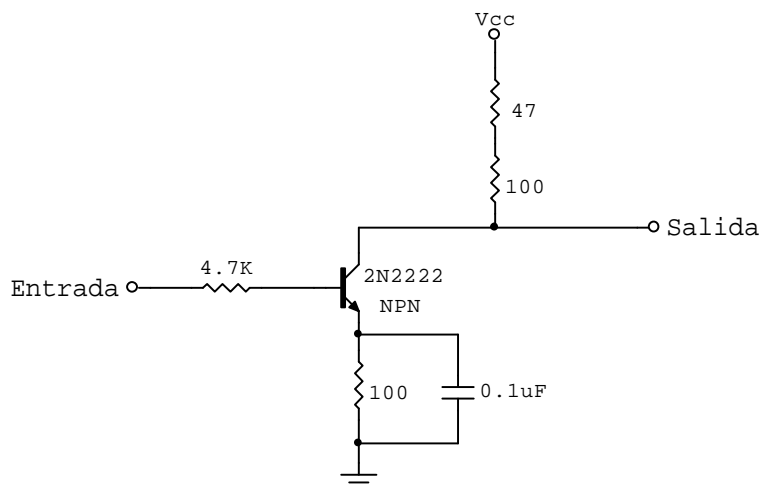
La demodulación FSK se realiza mediante el circuito PLL (Phase Locked Loop) XR2211, los componentes críticos se muestran en los pines 8 Y 13. Estos componentes fijan parámetros del PLL como la frecuencia central, la Ganancia y el Coeficiente de Damping.

A-3 Circuito del Amplificador y Filtro Activo



Este circuito esta basado en el circuito integrado TL084, el cual consta de cuatro Amplificadores Operacionales internos, donde el primero es utilizado como filtro Activo y los demás como amplificadores de la señal de entrada.

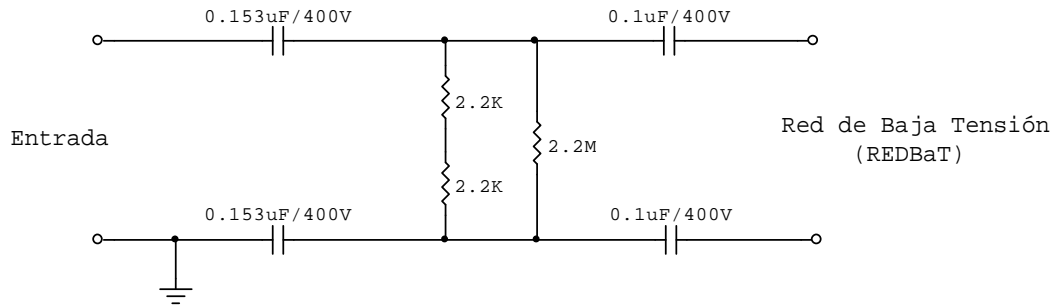
A-4 Circuito de Amplificación



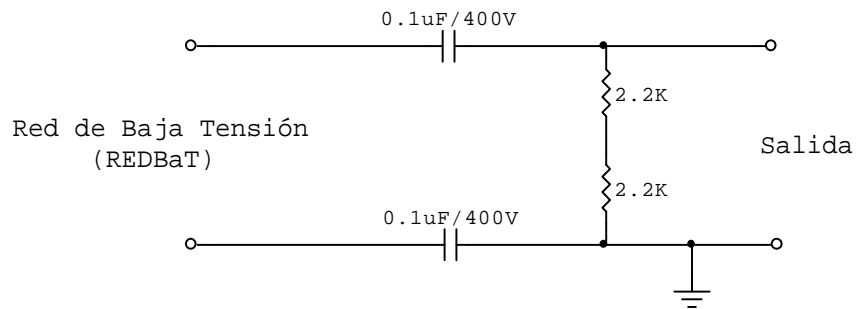
Este circuito se basa en un transistor BJT 2N2222 en configuración inversora.

A-5 Red de Acople

Acople Transmisor

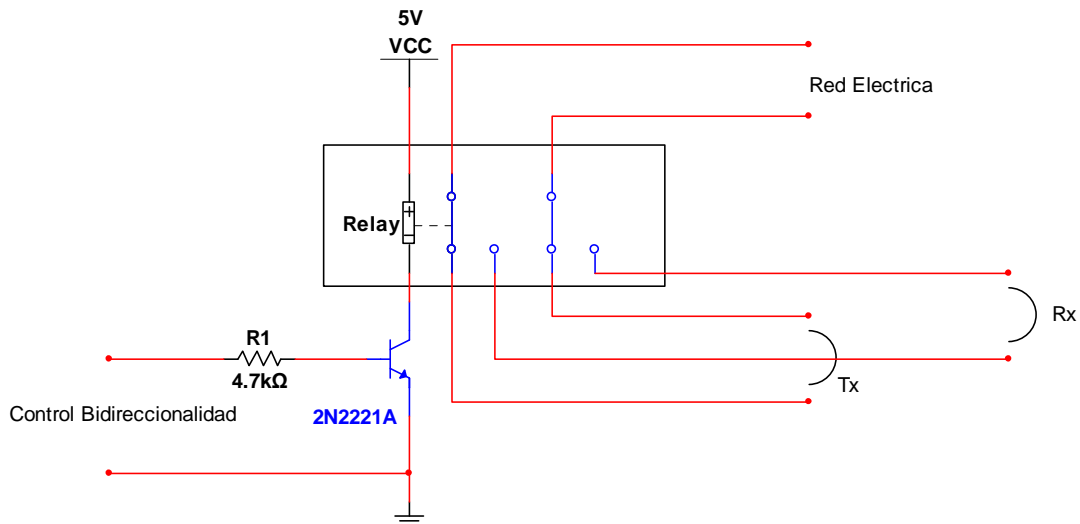


Acople Receptor



Este tipo de acople está diseñado para la Red de Baja Tensión de 120V.

A-6 Circuito del Relé



El control de la bidireccionalidad se realiza mediante un relé de cuatro contactos controlados por una señal TTL que se aplica a la base de un transistor.

Anexo B. Cálculos para la Selección de Componentes

B-1 Cálculos del XR2206

$$F = \frac{1}{R * C}$$

$$F_1 = 150\text{Khz} \quad F_2 = 300\text{Khz}$$

$$150\text{Khz} = \frac{1}{C * R_1} \quad \text{Con } C = 0,001\mu\text{F (102)}$$

$$R_1 = 6666,66\Omega$$

$$300\text{Khz} = \frac{1}{C * R_2} \quad \text{Con } C = 0,001\mu\text{F (102)}$$

$$R_2 = 3333,33\Omega$$

Los valores de las Resistencias Prácticas fueron:

$$R_1 = 6,8\text{Khz}$$

$$R_2 = 3,3\text{Khz}$$

Con estos valores de Resistencias las Frecuencias Reales son:

$$F_1 = 147\text{Khz}$$

$$F_2 = 303\text{Khz}$$

B-2 Cálculos del XR2211

a) Frecuencia central del PLL:

$$f_0 = \sqrt{F_1 * F_2}$$

$$f_0 = \sqrt{147Khz * 303Khz}$$

$$f_0 = 211,047Khz$$

b) Resistencia de timing. Esta resistencia se escoge en un rango de $10K\Omega$ y $100K\Omega$. El valor recomendado de $R_0 = 20K\Omega$.

c) El valor de C_0 :

$$C_0 = \frac{1}{R_0 * f_0}$$

$$C_0 = \frac{1}{20K\Omega * 211,047Khz}$$

$$C_0 = 236pF$$

d) Para calcular el valor de R_1 :

$$R_1 = \frac{R_0 * f_0}{(F_2 - F_1)} * 2$$

$$R_1 = \frac{20K\Omega * 211,047Khz}{(303Khz - 147Khz)} * 2$$

$$R_1 = 54,114K\Omega$$

e) Calculando C_1 con $\zeta = 0,5$:

$$C_1 = \frac{1250 * C_0}{R_1 * \zeta^2}$$

$$C_1 = \frac{1250 * 236pF}{55K\Omega * (0,5)^2}$$

$$C_1 = 21,4pF$$

f) Cálculos para la capacitancia del filtro de datos:

$$R_{SUM} = \frac{(R_F + R_1) * R_B}{(R_1 + R_F + R_B)}$$

$$R_{SUM} = \frac{(100K\Omega + 55k\Omega) * 510K\Omega}{(55K\Omega + 100K\Omega + 510K\Omega)}$$

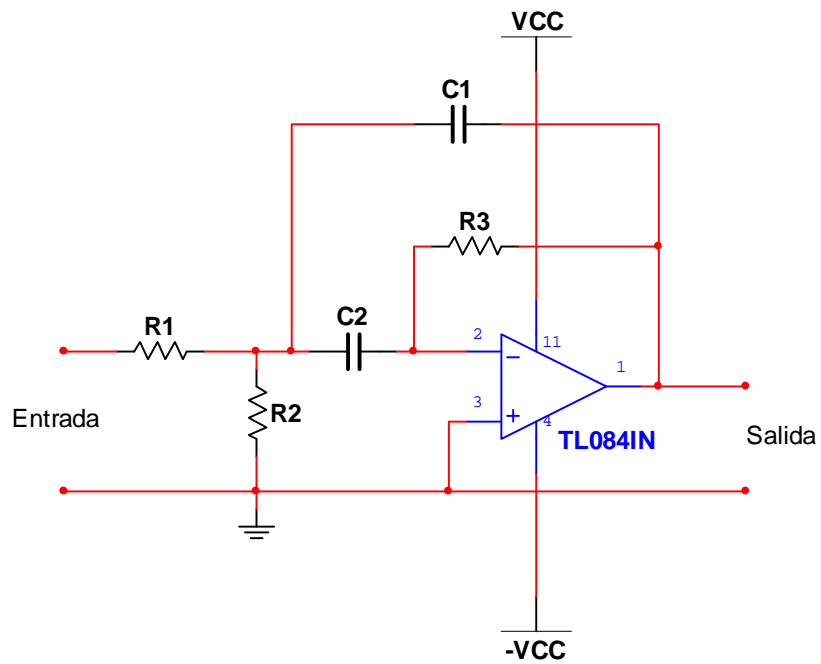
$$R_{SUM} = 118,87K\Omega$$

$$C_F = \frac{0,25}{(R_{SUM} * BaudRate)}$$

$$C_F = \frac{0,25}{(118,87K\Omega * 1200)}$$

$$C_F = 1,7nF$$

B-3a Cálculos del TL084 como Filtro Activo



$$H = A_0 * Q$$

$$W_0 = 2 * \pi * f_0$$

$$R_1 = \frac{1}{H * C_1 * W_0}$$

$$R_2 = \frac{R_1 * R_{EQ}}{(R_1 - R_{EQ})}$$

$$R_{EQ} = \frac{1}{Q * (C_1 + C_2) * W_0}$$

$$R_3 = A_0 * R_1 * \left(1 + \frac{C_1}{C_2}\right)$$

Donde: $A_0 =$ *Ganancia del amplificador operacional*
 $Q =$ *Factor de calidad del filtro*
 $f_0 =$ *Frecuencia central*

Entonces; $A_0 = 1$
 $Q = 10$

$$R_1 = \frac{1}{10 * 1nF * 2 * \pi * 250Khz}$$

$$R_1 = 63,661\Omega$$

$$R_{EQ} = \frac{1}{10 * (2nF) * 2 * \pi * 250Khz}$$

$$R_{EQ} = 31,830\Omega$$

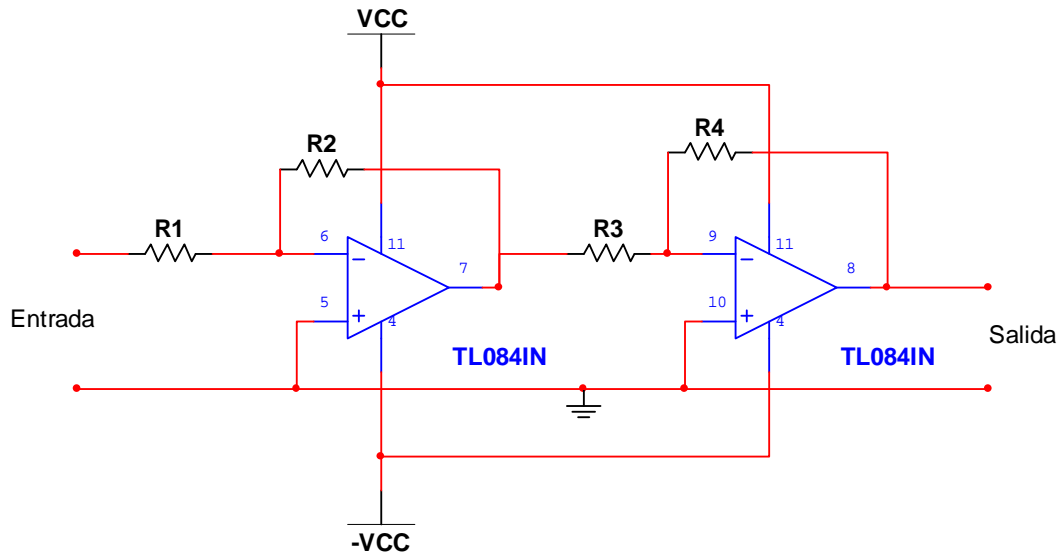
$$R_2 = \frac{63,661\Omega * 31,830\Omega}{(63,661\Omega - 31,830\Omega)}$$

$$R_2 = 63,659\Omega$$

$$R_3 = 1 * 63,661\Omega * \left(1 + \frac{1nF}{1nF}\right)$$

$$R_3 = 127,322\Omega$$

B-3b Cálculos del TL084 como Amplificador



- Para el primer Amplificador (TL084) la Ganancia = 10 y se asume

$$R_1 = 1K\Omega$$

Luego;

$$G = \frac{R_2}{R_1}$$

$$10 = \frac{R_2}{1K\Omega}$$

$$R_2 = 10 * 1K\Omega = 10K\Omega$$

- Para el segundo Amplificador (TL084) la Ganancia = 2.2 y se asume

$$R_3 = 1K\Omega$$

Luego;

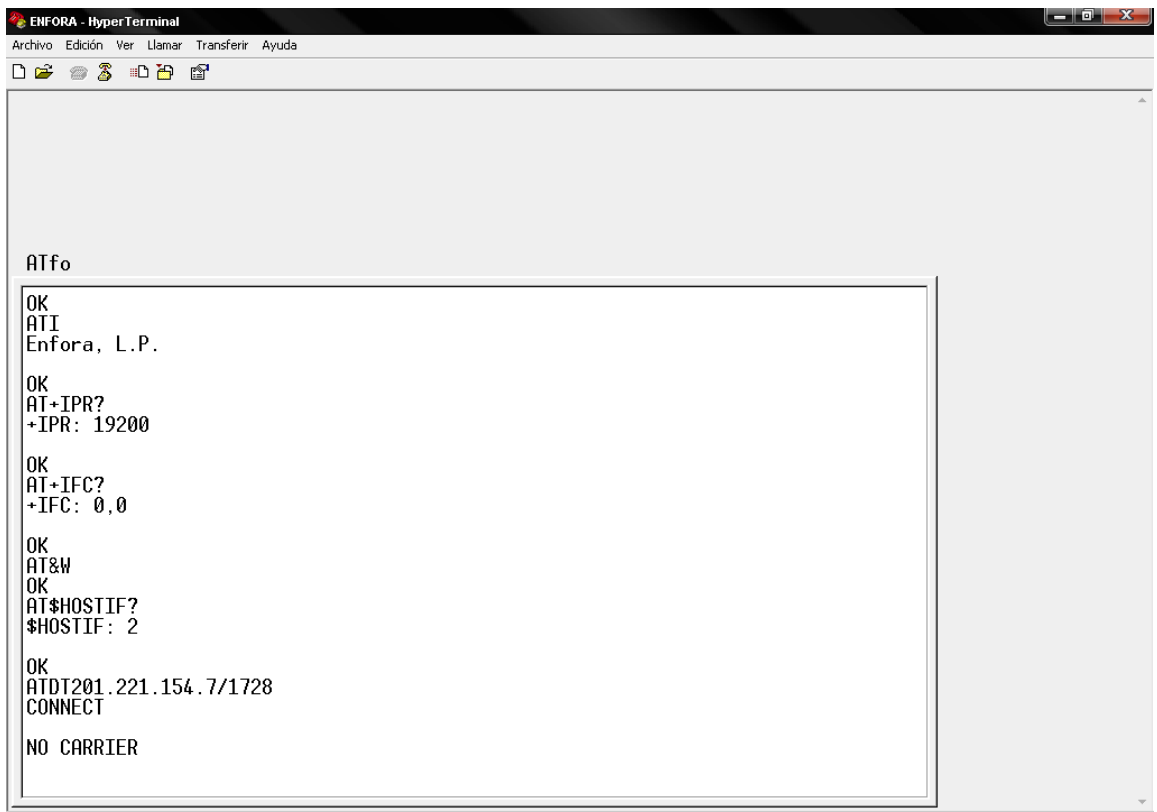
$$G = \frac{R_4}{R_3}$$

$$2.2 = \frac{R_4}{1K\Omega}$$

$$R_4 = 2.2 * 1K\Omega = 2.2K\Omega$$

Anexo C. Documentación de pruebas finales

Configuración Módem Celular Enfora



```
ENFORA - HyperTerminal
Archivo Edición Ver Llamar Transferir Ayuda
[Icons]

ATfo

OK
ATI
Enfora, L.P.

OK
AT+IPR?
+IPR: 19200

OK
AT+IFC?
+IFC: 0,0

OK
AT&W
OK
AT$HOSTIF?
$HOSTIF: 2

OK
ATDT201.221.154.7/1728
CONNECT
NO CARRIER
```

10 y 20 Metros

Client nr 0 disconnected

Connection received from (198.228.90.116) from port 31087

Received from client 0: AT&W

Received from client 0: AT\$HOSTIF=2

Received from client 0: ATDT201.221.154.7/1728

Received from client 0:

Received from client 0: yyyyyyyiyyy/yyyyy

Received from client 0: yy000†,,Šâl41.668111|/yyyyy

Received from client 0:
00000001|343.334829|/yyyyyyyyyy00000001|345.001548|/yyyyyyyyyy00000001|3
46.6v8264|/yyyyyyyyyy00000001|308.334982|/yyyyyy00000001|350.001698|/yyyyyy
yyyy00000001|351.66841?|/yyyyyy00000001|353.335136|/yy

Received from client 0:
y00000001|355.001851|/yyyyyyyyyyyy00000001|356.668573|/yy

Received from client 0:
y00000001|358.335289¾|/yyyyyyyy00000001|360.002005|/yyyyyy00000001|361.66
8720|?

Unknown error ocured while receiving a message from client0
Client nr 0 disconnected

Total Caracteres = 252 Errores = 3 Porcentaje = 1.19%

Connection received from (198.228.90.116) from port 30751
Client 0 caused error #10053 (Se ha anulado una conexión establecida por el
software en su equipo host)

Client nr 0 disconnected

Connection received from (198.228.90.116) from port 48495

Received from client 0: 00000001|373.335745|/yy

Received from client 0: yy0000000LÍ75.002461|/yyyy

Received from client 0: 00000001|376.669183|/yy

Received from client 0:

y00000001|378.335902|/yyyyyy00000001|380.002614|/yyyyyy00000001|381.669
333|/yy

Received from client 0: yy00000001|383.336052|/yy00000001|385.002768|/yyyy

Received from client 0:

y00000001|386.669483|/yyyyyyyy00000001|388.336202|/yy00000001|390.00291
8|/y

Received from client 0: y00000001|391.6_9636|/

Total Caracteres = 252 Errores = 3 Porcentaje = 1.19%

30 y 40 Metros

Client nr 0 disconnected

Connection received from (198.228.90.116) from port 48495

Received from client 0:

yy=00000001|395.003074|/yyyyyy00000001|396.669793|/yyyyyyyy00000001|398.
336511|/yyyyyyyy00000001|400.003224|/yyyyyy0000000LN01.669943|/yy

Received from client 0: 0000_001|403.336665|/y

Received from client 0: y00000001|405.003377|/yyyyyyyy00000001|406.670096|/

Received from client 0: yy00000001|408.336812|/yyyy

Received from client 0: 00000001|410.003530|/y

Received from client 0: ÿÿ
Received from client 0: ÿ00800001|3rpnppp785|ÿÿÿ
Received from client 0: ÿ
Received from client 0: 00000001|321.667up1|o
Received from client 0: ÿ
Received from client 0: 00000001|323.374223|?ÿ
Received from client 0: ÿÿÿ0000000q|325.000935|ùÿÿÿÿÿÿ
Received from client 0: 00000001ü326.667654|ÿ
Received from client 0: ÿ
Received from client 0: 00000001|328.334373|ÿÿ
Received from client 0: ÿ
Received from client 0: ÿ00p0p0p1|330.001088|/
Received from client 0: ÿÿÿÿÿÿ
Received from client 0: ÿ00000p01|331.667œ~7¾ÿÿ
Received from client 0: ÿ00800001|333.334523|ÿ
Received from client 0: ÿÿ00000001|335.001242|ÿ
Received from client 0: ÿÿÿ
Received from client 0: ÿ00000001|336.667y6p|ÿ
Received from client 0: ÿ
Received from client 0: ÿ00000001|338.334679|/
Received from client 0: ÿÿ
Received from client 0: ÿ
Received from client 0: ÿ00000001|340.001392|ÿ

Client 0 caused error #10053 (Se ha anulado una conexión establecida por el software en su equipo host)

Client nr 0 disconnected

Total Caracteres = 609 Errores = 64 Porcentaje = 10.5%