



**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPTO. INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

“Estudio, implementación y pruebas de  
comunicación por la red eléctrica, mediante  
módems PLC”

Gerson Joel García Campos

Rodrigo Alexis Oyarce Sanhueza

SEMINARIO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO DE EJECUCIÓN EN ELECTRÓNICA

CONCEPCIÓN – CHILE

2017



**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPTO. INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

# “Estudio, implementación y pruebas de comunicación por la red eléctrica, mediante módems PLC”

Gerson Joel García Campos  
Rodrigo Alexis Oyarce Sanhueza

JOHN CORREA TOLOSA  
GUSTAVO SANHUEZA GARRIDO  
SERGIO ACUÑA BRAVO

## ÍNDICE

|   |    |
|---|----|
| RESUMEN.....                                | 7  |
| INTRODUCCIÓN.....                           | 8  |
| OBJETIVOS .....                             | 10 |
| CAPITULO 1. COMUNICACIÓN PLC.....           | 11 |
| 1.1 Sistema de comunicación.....            | 11 |
| 1.2 Modulación y demodulación .....         | 12 |
| 1.3 Comunicaciones PLC.....                 | 13 |
| 1.4 Tipos de Modulación PLC .....           | 14 |
| 1.5 Modulación a utilizar.....              | 15 |
| 1.5.1 Modulación FSK.....                   | 15 |
| 1.5.2 Circuito PLL .....                    | 16 |
| 1.5.3 Modulación S-FSK.....                 | 17 |
| 1.5.4 Temporización de bits para S-FSK..... | 18 |
| 1.6 Firmware .....                          | 19 |
| 1.6.1 Cambio al Firmware PLL110.....        | 19 |
| 1.6.2 Firmware PLL110.....                  | 19 |
| 1.6.3 KNX PL110 .....                       | 20 |
| 1.6.4 Normativa Estandarización .....       | 20 |
| 1.7 Proceso de transmisión .....            | 22 |
| CAPITULO 2. HARDWARE .....                  | 24 |
| 2.1 Introducción.....                       | 24 |
| 2.2 NCN49597PD11GEVK.....                   | 24 |
| 2.3 Placa madre .....                       | 25 |
| 2.4 Placa hermana .....                     | 26 |
| 2.5 NCN49597 .....                          | 26 |
| 2.6 Funcionamiento.....                     | 27 |
| 2.6.1 Control y reloj.....                  | 27 |
| 2.6.2 Transmisor.....                       | 28 |
| 2.6.3 Receptor .....                        | 28 |
| 2.6.4 Controlador de comunicación.....      | 29 |
| 2.7 Firmware .....                          | 29 |
| 2.8 Protocolo HDLC .....                    | 30 |
| CAPITULO 3. SOFTWARE.....                   | 31 |

|   |  |    |
|---|--|----|
| 3.1   | Introducción.....  | 31 |
| 3.2   | PLC Terminal .....   | 31 |
| 3.3   | Comandos de importancia.....   | 32 |
| 3.4   | Inicialización.....  | 33 |
| 3.5   | Comunicación .....   | 34 |
| 3.6   | IDE de Arduino .....   | 34 |
| 3.7   | Programación.....  | 34 |
| CAPITULO 4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES ..... |  | 36 |
| 4.1   | Introducción.....  | 36 |
| 4.2   | Prueba básica de comunicación.....   | 36 |
| 4.3   | Resultados .....   | 41 |
| 4.4   | Pruebas de comunicación en edificio gantes de la universidad del Bío Bío ..... | 41 |
| 4.4.1                                       | Comunicación entre salas del edificio Gantes (s213 y s206) .....               | 43 |
| 4.4.2                                       | Comunicación en sala de estudio del edificio Gantes .....                      | 44 |
| 4.4.3                                       | Comunicación en laboratorio de electrónica básica. ....                        | 45 |
| 4.4.4                                       | Comunicación en pasillo del segundo piso del edificio Gantes.....              | 46 |
| CONCLUSIÓN.....                             |  | 52 |
| BIBLIOGRAFÍA.....                           |  | 54 |
| ANEXOS.....                                 |  | 55 |
| 5.1   | Comisión IEC .....   | 55 |
| 5.2   | Estándar IEC 61334.....  | 55 |
| 5.3   | IEC 61334-5-1 .....  | 57 |
| 5.3.1                                       | Método de transmisión .....  | 58 |
| 5.3.2                                       | Codificación: temporización de bits .....                                      | 58 |
| 5.3.4                                       | Temporización de trama.....  | 59 |
| 5.3.5                                       | Temporización de ranura.....   | 59 |
| 5.3.6                                       | Preámbulo y empezar delimitador subtrama .....                                 | 59 |
| 5.4   | IEC 61334-5-3.....   | 60 |
| 5.5   | IEC 61334-5-4.....   | 60 |
| 5.6   | IEC 61334-5-5.....   | 60 |
| 5.7   | Topología PLC .....  | 60 |
| 5.8   | Código cargado a arduino .....   | 61 |
| 5.9   | Esquemáticos del módem .....   | 64 |
| 5.9.1                                       | Placa madre.....   | 64 |

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 5.9.2 Placa Hermana ..... | 66 |
|---------------------------|----|

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Fig. 0.1 Esquema de propuesta de estudio para tesis.....                       | 8  |
| Fig. 1.2.1 Diagrama en bloque de sistema de comunicación .....                 | 13 |
| Fig. 1.5.1 Método de modulación FSK .....                                      | 15 |
| Fig. 1.5.2 Demodulación FSK con PLL .....                                      | 16 |
| Fig. 1.5.3 Diagrama de bloques de un circuito PLL.....                         | 16 |
| Fig. 1.5.4 Forma de onda en el dominio del tiempo .....                        | 17 |
| Fig. 1.5.5 Forma de onda en el dominio de la frecuencia .....                  | 18 |
| Fig. 1.5.6 Temporización de bits .....   | 18 |
| Fig. 1.6.1 Rangos de frecuencia para EVK .....                                 | 21 |
| Fig. 1.7.1 Esquema de transmisión.....   | 22 |
| Fig. 2.2.1 NCN49597PD11GEVK .....  | 24 |
| Fig. 2.3.1 Placa Madre .....   | 25 |
| Fig. 2.3.2 Puerto Serial .....   | 25 |
| Fig. 2.3.3 Etapa de acoplamiento a la red y regulación.....                    | 25 |
| Fig. 2.4.1 Placa Hermana .....   | 26 |
| Fig. 2.6.1 Diagrama en bloque del NCN49597 .....                               | 27 |
| Fig. 2.8.1 Trama HDLC .....  | 30 |
| Fig. 3.2.1 PLC Terminal .....  | 31 |
| Fig. 3.2.2 Comandos mostrados por el terminal, al usar la función HELP .....   | 32 |
| Fig. 3.7.1 Comandos mostrados por el terminal, al usar la función HELP .....   | 35 |
| Fig. 4.2.1 Circuito para adaptar señales lógicas.....                          | 36 |
| Fig. 4.2.2 Conexión arduino-módem .....  | 37 |
| Fig. 4.2.3 Comunicación a Módem.....   | 38 |
| Fig. 4.2.4 Comunicación entre ambos módems .....                               | 39 |
| Fig. 4.4.1 Configuración modem A.....  | 42 |
| Fig. 4.4.2 Configuración modem B.....  | 42 |
| Fig. 4.4.3 Comandos ingresados para las pruebas de comunicación.....           | 43 |
| Fig. 4.4.4 Esquema de comunicación entre salas S206 y S213.....                | 44 |
| Fig. 4.4.5 Esquema de comunicación dentro de la Sala de Estudios .....         | 45 |
| Fig. 4.4.6 Esquema de comunicación dentro del Laboratorio de Electrónica ..... | 46 |

|  |    |
|--|----|
| Fig. 4.4.7 Esquema de comunicación en el pasillo del segundo piso del Edificio del Gantes .....  | 47 |
| Fig. 4.4.8 Módem A conectado a la red eléctrica dentro del pasillo del Edificio del Gantes ..... | 48 |
| Fig. 4.4.9 Módem B conectado a la red eléctrica dentro del pasillo del Edificio del Gantes ..... | 49 |
| Fig. 4.4.10 Terminal PLC .....   | 50 |
| Fig. 4.4.11 Datos de pruebas de comunicación .....   | 50 |
| Fig. 5.2.1 Modelo de referencia IEC 61334.....   | 56 |
| Fig. 5.3.1 Intervalo de tiempo y la estructura de trama física .....                             | 59 |
| Fig. 5.7.1 Topología de tres nodos.....  | 61 |
| Fig. 5.9.1 Esquemático Placa Madre, 1 .....  | 64 |
| Fig. 5.9.2 Esquemático Placa Madre, 2 .....  | 65 |
| Fig. 5.9.3 Esquemático Placa Hermana.....  | 66 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla 1 Variantes disponibles de frecuencias ..... | 21 |
| Tabla 2 Comandos principales.....                  | 32 |
| Tabla 3 Comandos de inicialización.....            | 34 |
| Tabla 4 Bytes del comando txmacm .....             | 39 |
| Tabla 5 Bandera de transmisión .....               | 40 |

## RESUMEN

El seminario de título desarrollado tiene como objetivo estudiar, analizar y lograr comunicación por la red eléctrica domiciliaria (220v), la cual se basa en dos módems PLC, desarrollados por ON Semiconductor, el cual trabaja bajo una modulación S-FSK, y con la técnica de comunicación del estándar PL110.

Una vez lograda la comunicación con éxito, se llevó a cabo la verificación de la comunicación entre las placas en la red eléctrica mediante pruebas por la red, viendo temas como la transmisión de los datos en distintas distancias posibles, pudiendo sacar datos claves para el trabajo realizado ya sea ventajas y desventajas que se puedan observar.

El tema se encuentra distribuido en 4 capítulos donde se explica la teoría, desarrollo e implementación, y un capítulo de anexos final.

En el capítulo 1 se habla sobre la comunicación PLC. En función a la modulación empleada, existen varios tipos de comunicación PLC, detallándose el tipo de técnica escogida para la presente tesis, el cual está definido por estándar PLL110.

En el capítulo 2 se enfoca en el hardware, presentando información relevante del módem empleado, incluyendo al SoC (System-On-Chip), incorporado dentro de él.

En el capítulo 3 se incluye información relevante acerca del uso de la aplicación PLC Terminal, proporcionado por OnSemi, para el correcto uso de los módems.

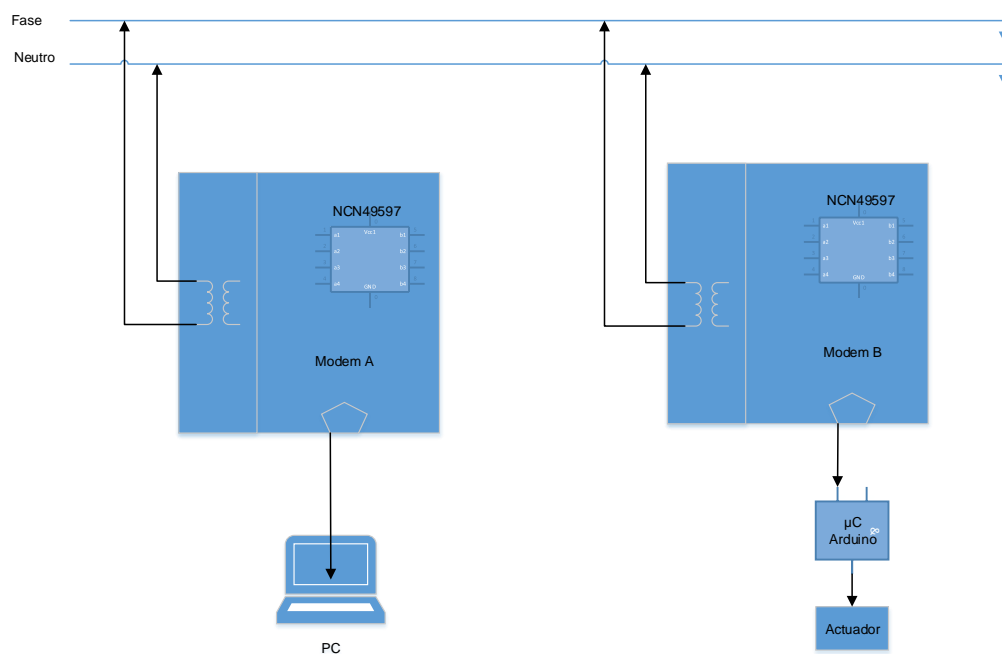
En el capítulo 4 se documenta la implementación realizada para las pruebas, incluyendo la configuración realizada y su funcionamiento, con los resultados obtenidos

Posterior a estos 4 capítulos, se indican las conclusiones obtenidas del desarrollo del trabajo.

## INTRODUCCIÓN

La técnica de comunicación a través de la red eléctrica (PLC, por sus siglas en inglés de Power Line Communication), consiste en transmitir información sobre el mismo cableado eléctrico, en banda estrecha o banda ancha, utilizando técnicas de modulación modernas.

Si bien, desde finales de 1990 se comenzó a utilizar una comunicación banda ancha sobre la red, la comunicación PLC no es una invención reciente. Por la década de 1950 ya se utilizaba para una comunicación símplex, aplicada a control de líneas eléctricas y relés. Para esto se utilizaba una señal de 10 Hz y de 10 kW de potencia. Durante la década de los 80 se dio inicio a los primeros estudios para transmitir datos con bandas de entre 5 y 500 kHz sobre la red, aunque seguía siendo enfocada para comunicación unidireccional. Ya en 1997 y 2000 se realizaron las primeras pruebas para comunicación bidireccional en Suiza, Reino Unido y Francia.



**Fig. 0.1 Esquema de propuesta de estudio para tesis**

El principio de trabajo de esta comunicación consiste en superponer una señal de alta frecuencia, del orden de los 100 kHz a las decenas de MHz, y baja potencia, sobre los 50 o 60 Hz de la red. Luego, esta señal es transmitida por el cableado eléctrico, pudiendo ser

recepcionada y decodificada por cualquier receptor que se encuentre en la misma red. Mediante los protocolos de comunicación, cada receptor sabe para quién va la señal. A través de filtros, la señal con la información es seleccionada y luego convertida a datos binarios útiles.

En este trabajo se propone la utilización de dos módems PLC (o PLM, Power Line Módem), NCN49597PD11GEVK, para poder transmitir información. Uno de ellos será gobernado por un computador corriendo el software PLC Terminal, y el otro será comandado por un microcontrolador Arduino Uno.

En la figura 0.1 se detalla el esquema propuesto para cumplir tal objetivo.

## **OBJETIVOS**

- Realizar un prototipo de comunicación utilizando los dispositivos de comunicación y un microcontrolador.
- Evaluar el desempeño de la comunicación entre dos módems PLC

## **CAPITULO 1. COMUNICACIÓN PLC**

### **1.1 Sistema de comunicación**

Un sistema de comunicación está compuesto por la transmisión, recepción y el procesamiento de información, los cuales se llevan a cabo usando circuitos electrónicos.

La información es el conocimiento y/o la realidad, las cuales pueden ser en forma analógica (proporcional o continua), tal como es la voz humana, información sobre una imagen de video, música, o también en forma digital (etapas descritas), tales como los números digitales, números codificados en binario, códigos alfanuméricos, símbolos gráficos, códigos operacionales del microprocesador o información de base de datos.

Toda la información debe convertirse a energía electromagnética, antes de que esta pueda propagarse por un sistema de comunicación electrónico.

Un sistema de comunicación electrónico contiene tres secciones primarias:

- un transmisor
- un medio de transmisión
- un receptor

El transmisor tiene como objetivo convertir la información original de la fuente en una forma más adecuada para lograr la transmisión, el medio de transmisión proporciona un medio de conexión entre el transmisor y el receptor (tal como lo es una fibra óptica, conductor metálico o espacio libre), y el receptor convierte la información recibida en su forma original y la transfiere a su destino.

Existen dos tipos básicos de sistema de comunicación:

- Análogo
- Digital

El sistema de comunicación análogo es un sistema en el cual la energía electromagnética se transmite y recibe en forma análoga (una señal variando continuamente tal como una onda senoidal). Unos ejemplos de estos sistemas son las radios comerciales que emiten señales análogas.

Un sistema de comunicación digital es un sistema en el cual la energía electromagnética se transmite y recibe en forma digital (niveles discretos tal como 5 V y tierra). Los sistemas binarios utilizan las señales digitales que solo tienen dos niveles discretos. Frecuentemente la información de la fuente original se encuentra en una forma que no es adecuada para la transmisión y se debe modificar de tal forma que sea adecuada antes de que empiece la transmisión.

## **1.2 Modulación y demodulación**

En los sistemas de comunicaciones electrónicos análogos, la información de la fuente actúa sobre o modula una señal senoidal de frecuencia.

Modular significa variar, cambiar o regular. Por lo tanto, la información de la fuente de frecuencia baja se llama señal de modulación.

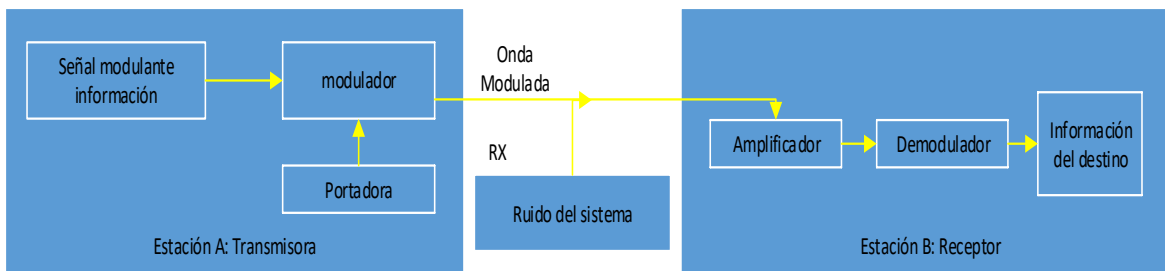
La señal de frecuencia alta, sobre la cual se actúa se llama portadora, y la señal resultante se llama señal modulada. En principio, la información de la fuente se transporta a través del sistema sobre la portadora.

Con los sistemas de comunicación analógicos, la modulación es el proceso de variar o cambiar alguna propiedad de una portadora analógica de acuerdo con la información original de la fuente. Recíprocamente, la demodulación es el proceso de convertir los cambios en la portadora analógica a la información original de la fuente. La modulación se realiza en el transmisor y la demodulación se realiza en el receptor, en un circuito llamado demodulador.

La señal de información que modula la portadora principal se llama señal de banda base. La señal banda base es de información, como un canal telefónico sencillo, y la señal de banda base compuesta es la señal para la información total.

La señal de banda base se convierte en alta frecuencia en el transmisor y se convierte en baja frecuencia en el receptor. La traslación de frecuencia es el proceso de convertir una frecuencia sencilla o una banda de frecuencias a otra ubicación en el espectro de la frecuencia total.

A continuación, se aprecia un diagrama de bloques de un sistema de comunicaciones que muestra la relación entre señal de modulación, la señal modulada, la onda modulada y el ruido del sistema (ver figura 1.2.1).



**Fig. 1.2.1 Diagrama en bloque de sistema de comunicación**

Dos razones importantes de porque es necesaria la modulación en un sistema de comunicaciones son:

- El hecho de que es extremadamente difícil radiar señales a frecuencias bajas por la atmosfera de la tierra en forma de energía electromagnética.
- La señal de información frecuentemente ocupa la misma banda de frecuencia y, si son transmitidas en su forma original, interferirían.

### 1.3 Comunicaciones PLC

PLC (Power Line Communication) es una tecnología que permite transmitir datos a través de la red eléctrica. PLC utiliza los cables eléctricos para transmitir datos, por lo cual lo primero que es necesario es separar de algún modo la información digital de la señal eléctrica que es utilizada para alimentar los electrodomésticos. Esto se consigue de forma similar a cómo las líneas ADSL lo hacen (Asymmetric Digital Subscriber Line), donde su función es separar la señal de voz de la de datos, es decir, con un filtrado en frecuencia.

El objetivo de la comunicación PLC consiste en superponer una señal de frecuencia en niveles bajos de energía a través de una señal eléctrica de 50 Hz. Esta segunda señal se transmite a través de la infraestructura eléctrica, se puede recibir y decodificar de manera remota. De esta forma, recibirá la señal cualquier receptor PLC que se ubique en la misma red eléctrica.

## 1.4 Tipos de Modulación PLC

La línea eléctrica es un medio muy ruidoso, cambiante y también utilizado habitualmente para transmitir energía. La señal PLC utiliza esta misma la línea, pero utiliza un rango de frecuencias que normalmente no se emplea o tiene un uso muy restringido.

Es interesante destacar que hoy en día no hay estándares que seguir para la variedad de modulaciones que existen, aunque sí un grupo de sistemas (incompatibles entre ellos) caracterizados por la modulación de señal empleada. Esencialmente se utilizan algunos tipos de modulación, que se mencionan a continuación:

- DSSSM (Direct Sequence Spread Spectrum Modulation), se caracteriza porque puede operar con baja densidad espectral de potencia.
- OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex), utiliza un gran número de portadoras con anchos de banda muy estrechos.
- GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying), modulación por desplazamiento mínimo gaussiano, por que optimiza el uso del ancho de banda.
- SS-AW (Spread Spectrum Adaptive Wideband), describe los requisitos de la adaptación de espectro ensanchado del enfoque de banda ancha (SS-WW) que incorpora los servicios proporcionados por la entidad de capa física y la subcapa MAC.
- MCM (Multicarrier Modulation), Modulación multiportadora es un método de transmisión de datos mediante su división en varios componentes, y el envío de cada uno de estos componentes sobre señales portadoras independientes.
- FSK (Frequency Shift Keying) o Modulación por desplazamiento de Frecuencia.
- S-FSK (spread frequency shift keying) propagación desplazamiento de frecuencia.

De las modulaciones mencionadas cabe destacar que, en la presente tesis, los módems a utilizar integran la modulación S-FSK. Esta modulación empleada está basada en el estándar PLL110.

## 1.5 Modulación a utilizar

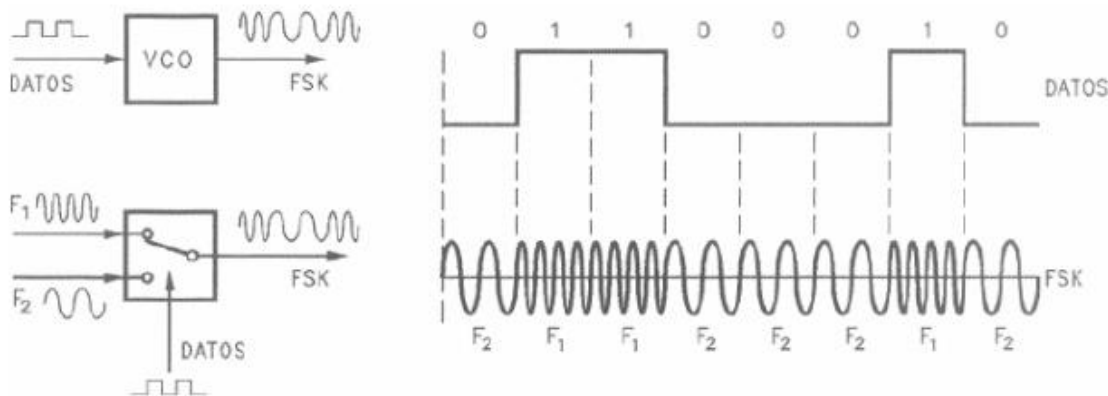
El estudio realizado al estándar se enfocará en la modulación S-FSK, utilizada por el módem seleccionado, la cual es muy parecida a la FSK, donde a continuación se analizarán sus características y diferencias principales, comenzando con la modulación FSK.

### 1.5.1 Modulación FSK

Modulación FSK (Frequency Shift Keying) o Modulación por desplazamiento de frecuencia.

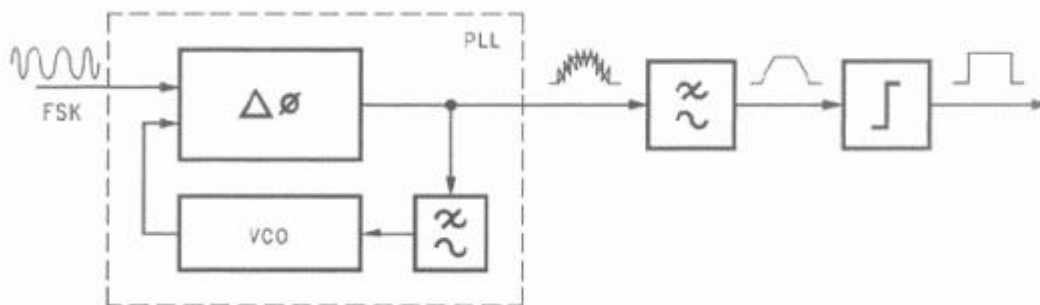
Es una modulación de frecuencia donde la señal moduladora (datos), es digital. En esta forma de modulación la portadora sinusoidal toma dos valores de frecuencia, determinados directamente por la señal de datos binaria (figura 1.5.1). El modulador puede realizarse en varios modos; entre los más conocidos podemos mencionar:

- Un oscilador controlado por tensión (VCO).
- Un sistema que transmite una de las dos frecuencias, en función de la señal de datos.
- Un divisor gobernado por la señal de datos.



**Fig. 1.5.1 Método de modulación FSK**

Para la técnica de demodulación más difundida en la FSK es la que utiliza un circuito PLL (figura 1.5.2).



**Fig. 1.5.2 Demodulación FSK con PLL**

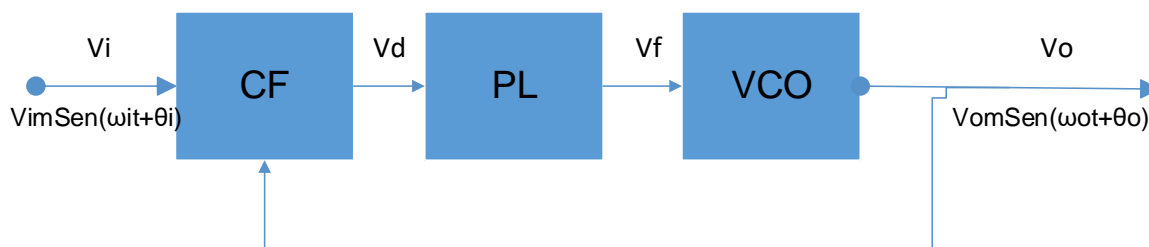
### 1.5.2 Circuito PLL

El circuito PLL es un sistema realimentado cuyo objetivo principal consiste en la generación de una señal de salida con amplitud fija y frecuencia que coincide con la de la entrada, dentro de un margen determinado. Comprende tres etapas fundamentales, las cuales se aprecian en la figura 1.5.3.

El comparador de fase (CF), suministra una salida que depende del valor absoluto del desfase entre las señales de salida y, de entrada. En algunos casos, esta etapa está constituida por un multiplicador.

Filtro pasa-bajo (PL), destinado a la transmisión de la componente de baja frecuencia de la salida de la etapa anterior.

Oscilador controlado por tensión (VCO), genera la tensión de salida, con frecuencia dependiente de la tensión de salida del filtro PL.



**Fig. 1.5.3 Diagrama de bloques de un circuito PLL**

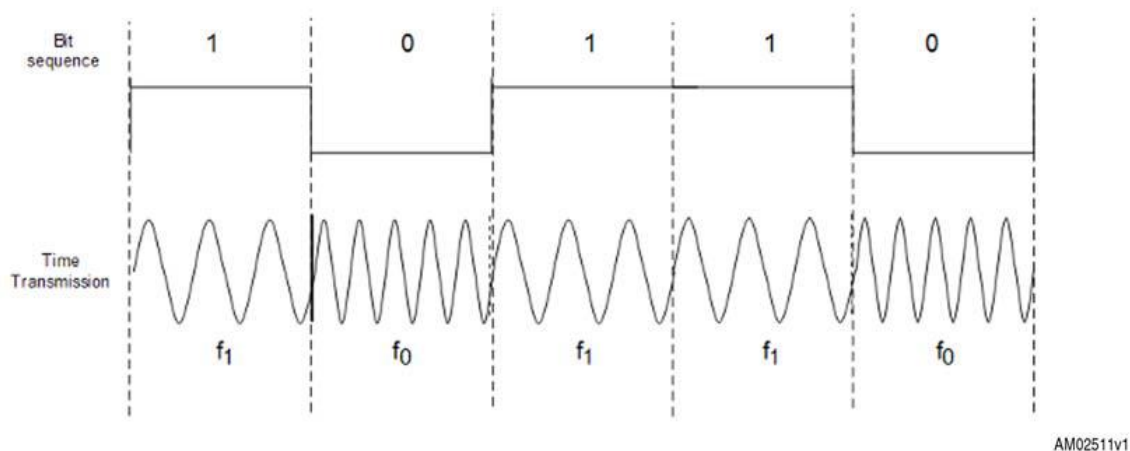
El PLL posee algunas aplicaciones entre la más importantes para este estudio es el cual ofrece un amplio espectro de aplicaciones en los campos de la demodulación FM y la multiplicación, división y síntesis de frecuencia. Una aplicación típica es la modulación

FSK (Frequency Shift Keying) para la transmisión de datos mediante una portadora que es desplazada entre dos frecuencias preseleccionadas. El desplazamiento se consigue controlando el VCO mediante la señal binaria de datos a transmitir.

La señal FSK en la entrada del PLL toma dos valores de frecuencia. La tensión de error proporcionada por el comparador de fase que sigue dichas variaciones y, por consiguiente, constituye la representación binaria NRZ (nivel alto y nivel bajo), de la señal FSK de entrada. A continuación del demodulador PLL se encuentra un filtro paso bajo que elimina las componentes residuales de portadora y un circuito conformador que traza la señal de datos correcta.

### 1.5.3 Modulación S-FSK

La técnica de modulación S-FSK tiene por objetivo reforzar la modulación FSK clásica añadiendo mayor robustez contra interferencias de banda estrecha típicos de un enfoque de amplio espectro. La codificación no retorno a cero (NRZ) se utiliza para asignar los datos de " 0 " ó " 1 " binarios a portadora sinusoidal a frecuencias  $f_0$  y  $f_1$  (Ver figura 1.5.4).



**Fig. 1.5.4 Forma de onda en el dominio del tiempo**

La desviación de frecuencia absoluta  $|f_0 - f_1|$  es de al menos 10 kHz (ver figura 1.5.5), con el fin de reducir la probabilidad de que una fuente de interferencia de banda estrecha podría corromper ambas compañías al mismo tiempo,  $f_0$  y  $f_1$  se pueden establecer en cualquier valor en bandas CENELEC (Comité Europeo de Normalización Electrotécnica).

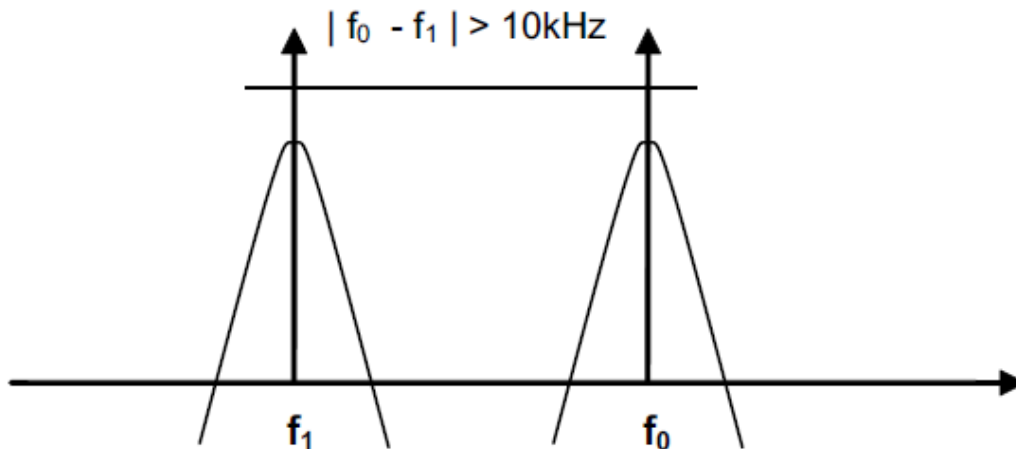


Fig. 1.5.5 Forma de onda en el dominio de la frecuencia

### 1.5.4 Temporización de bits para S-FSK

La comunicación de datos se sincroniza a la red, buscando los cruces por cero a través de un PLL. El tiempo de bit está adaptado de forma dinámica con el fin de tener siempre 24 o 48 bits en cada ciclo de red, de acuerdo con la configuración deseada (figura 1.5.6). La cantidad de bits resultantes depende de la frecuencia de la red instantánea. Con una frecuencia nominal de 50 Hz, la cantidad de bits resultante es 1200 bps en el caso del ciclo de 24 bits / ciclo de red, mientras que 2400 bps en el caso de 48 bit / ciclo de red principal.

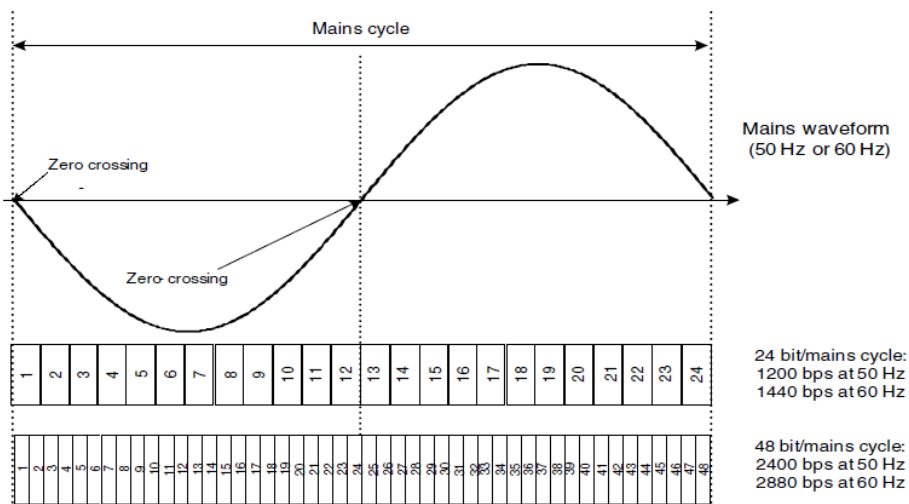


Fig. 1.5.6 Temporización de bits

## **1.6 Firmware**

### **1.6.1 Cambio al Firmware PLL110**

En principio para la tesis se tenía propuesto trabajar con el estándar IEC, para ser más preciso con el estándar IEC 613345-1, pero una vez que se tenía todo investigado y diseñado no se nos proporcionó el firmware IEC, por ende, por razones de fuerza mayor no se pudo continuar con el mismo.

Por lo que se tuvo que buscar un nuevo firmware, por las razones ya mencionadas anteriormente, dejando como nuevo firmware PLL110, que es propietario del fabricante, con esto también se tuvo que dejar de lado las placas ya diseñadas para el estándar que se tenía de un principio dado que el fabricante no nos proporcionó la información para la programación del micro.

Por otra parte, hubo que comprar placas nuevas hechas, ya que el fabricante tampoco entrega la información específica de como programar el micro ARM.

Como anexo se dejará la información del estándar IEC61334, que fue un estudio para la presente tesis y se relaciona de alguna forma en temas comunes del estudio.

A continuación, se profundizará en el tema del firmware PLL110.

### **1.6.2 Firmware PLL110**

ON Semiconductor ofrece un firmware libre de derechos conocido como ON-PL110. El cual implementa una topología de red de malla basada en una extensión de la especificación KNX PL110, la cual se profundiza en unos puntos más adelante.

En las aplicaciones típicas que se utiliza son: casa, edificios, automatización, control de paneles solares, iluminación, control y dosificación.

El firmware proporciona tanto la capa física (PHY) como el control de acceso al medio (MAC).

El protocolo sobre PL110 se basa en un modelo de red sin un nodo maestro, la comunicación puede ser en las redes de AC y DC. PLL110 además incluye direccionamiento jerárquico, soporta colisión, detección, corrección de errores y mensajes donde también están incluidos el aviso de recibo del mismo. Así mismo los datos pueden ser enviados o recibidos con una configuración antes previa. Una configuración mínima cuando se trabaja con la capa MAC, se requiere la configuración de la MAC individual, el dominio de direcciones y activar el modem.

Se debe tener en cuenta que el estándar IEC y el firmware IEC requieren un cruce por cero de la red eléctrica para sincronizar la transmisión. Por defecto, el firmware PL110 busca el cruce por cero de la red y sincroniza con la transmisión por la red. Si la sincronización en la red por el cruce por cero no se es requerido o no es posible (ejemplo una red DC), se puede igual la transmisión, teniendo que habilitar específicamente con el parámetro MIB\_R\_MISC\_ZCGEN\_MODE MIB.

### **1.6.3 KNX PL110**

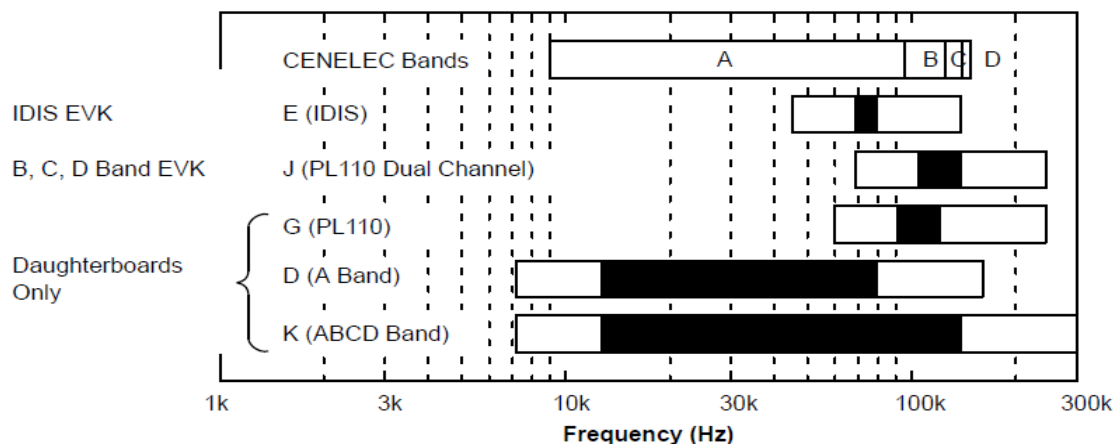
El Sistema KNX Powerline (KNX PL 110) hace posible la transmisión a través de la red de 220 V. A pesar de que las características de transmisión a través de la línea eléctrica están poco definidas (a causa de los tipos de cables, la longitud de los mismos, del tipo y número de dispositivos conectados, etc.), KNX PL110 permite una transmisión fiable. Algunas aplicaciones típicas para el sistema KNX PL 110 son:

- Control (conmutación, regulación) de instalaciones de iluminación.
- aplicaciones con motores (persianas, apertura de puertas).
- alarmas.
- transmisión de valores analógicos.
- control temporizado y centralizado.
- visualización mediante pantallas táctiles.

### **1.6.4 Normativa Estandarización**

En Europa, la transmisión de señales a través del sistema de alimentación de energía eléctrica está regulada por el estándar CENELEC EN 50065, cuya primera parte define los requisitos generales, rangos de frecuencias, niveles de transmisión y requerimientos de compatibilidad electromagnética (EMC). El KNX PL 110 emplea las frecuencias 105,6 kHz y 115,2 kHz para la transmisión. Como tiene una frecuencia media de 110 kHz, al sistema KNX PL 110 se le suele llamar “PL110”

A continuación, se mostrará imagen y una tabla para la evaluación de las frecuencias para algún kit.



**Fig. 1.6.1 Rangos de frecuencia para EVK**

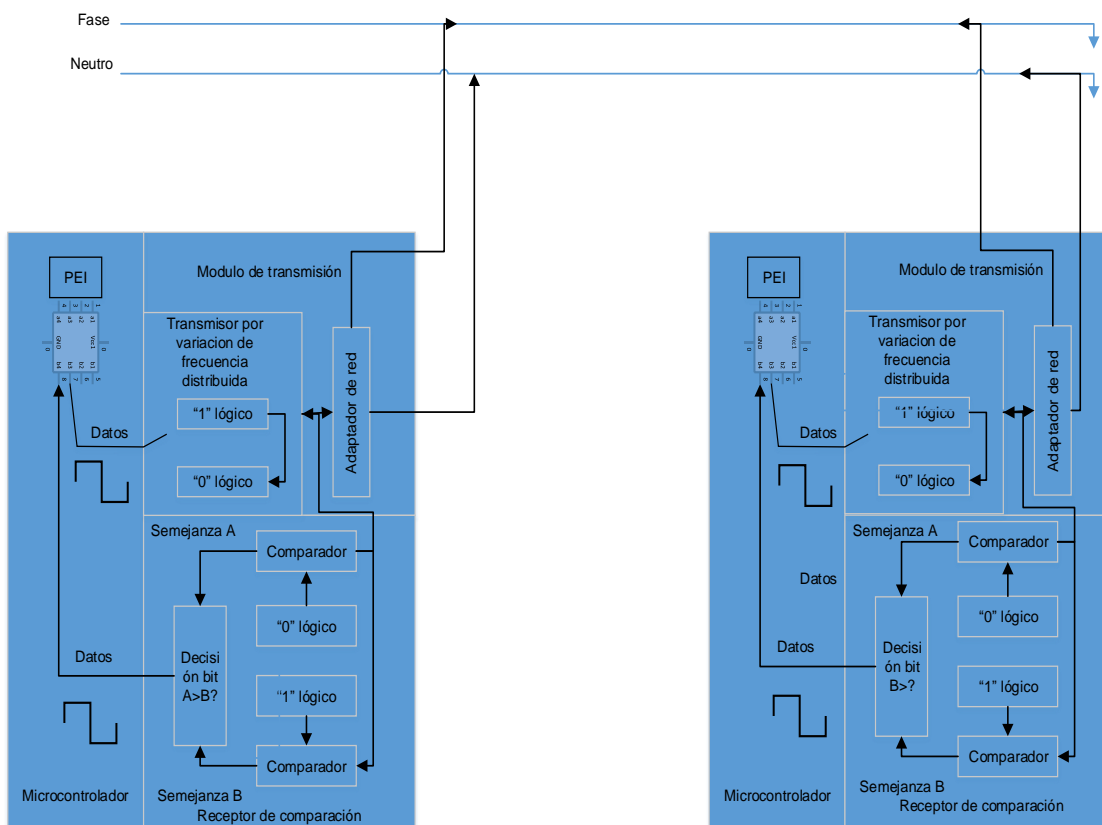
En la figura se parecía un rango de frecuencias con el fin de poder determinar que rango de frecuencias se necesitan para un determinado kit. En la siguiente tabla 1 se muestran las variantes que se obtienen de la figura 1.9.

**Tabla 1 Variantes disponibles de frecuencias**

| Nombre | Frecuencia portadora (KHz) | Descripción             |
|--------|----------------------------|-------------------------|
| D      | 9-95                       | Banda CENELEC A         |
| E      | 63.3-74.5                  | Frecuencia IDIS         |
| G      | 105-115                    | Frecuencia PLL110       |
| J      | 95-150                     | Frecuencia de 2 canales |
| K      | 9-150                      | Bandas CENELEC A-D      |

La variante "G" está optimizada para las frecuencias portadoras de la norma KNX PL110, la cual está entre 105 y 115 kHz, la cual es la que se utilizara para el estudio. La variante "E" está optimizado para frecuencia portadora IDIS (63,3 y 74,5 kHz), ampliamente utilizadas para lectura de medidores y aplicaciones similares. La variante "J" cubre la banda B, C y D, es decir, 95 - 148,5 kHz. Las placas "D" dirigidas a la banda CENELEC A (9-95kHz) mientras que "K" cubre todas las bandas CENELEC (9-148,5 kHz). El inconveniente al utilizar la portadora más grande en el rango de frecuencias es la anulación más baja de la interferencia.

## 1.7 Proceso de transmisión



**Fig. 1.7.1 Esquema de transmisión**

Gracias al continuo progreso en la miniaturización de los componentes electrónicos, se ha podido desarrollar un nuevo proceso de transmisión para la Línea de Fuerza KNX, llamado S-FSK (Spread Frequency Shift Keying – Modulación por Distribución de la Variación de Frecuencia), que funciona del siguiente modo:

- Si se transmite un “0”, se produce una frecuencia de 105,6 kHz que se superpone a la tensión de alimentación.
- Si se transmite un “1”, se utiliza una frecuencia de 115,2 kHz.

Con el fin de asegurar una transmisión libre de errores a la mayor velocidad posible, la de transmisión de datos entre MCU’s se ha establecido en 1.200 Bits/s. Esto significa que el tiempo requerido para transmitir 1 Bit es de 833 ms.

Todas las unidades de acoplamiento a la red (MCU), se encuentran permanentemente en “modo recepción”. La señal recibida (incluso los ruidos) es convertida permanentemente en un valor digital mediante un convertidor A/D.

Los “comparadores” se encargan de cotejar el valor digital recibido con un patrón digital de frecuencias de referencia almacenado. A partir de este paso, puede distinguirse con una probabilidad calculable si el bit:

- Es un “0”
- Es un “1”

No es un “0” ni un “1” (indefinido y, por tanto, ruido); el patrón de bit es rechazado.

## CAPITULO 2. HARDWARE

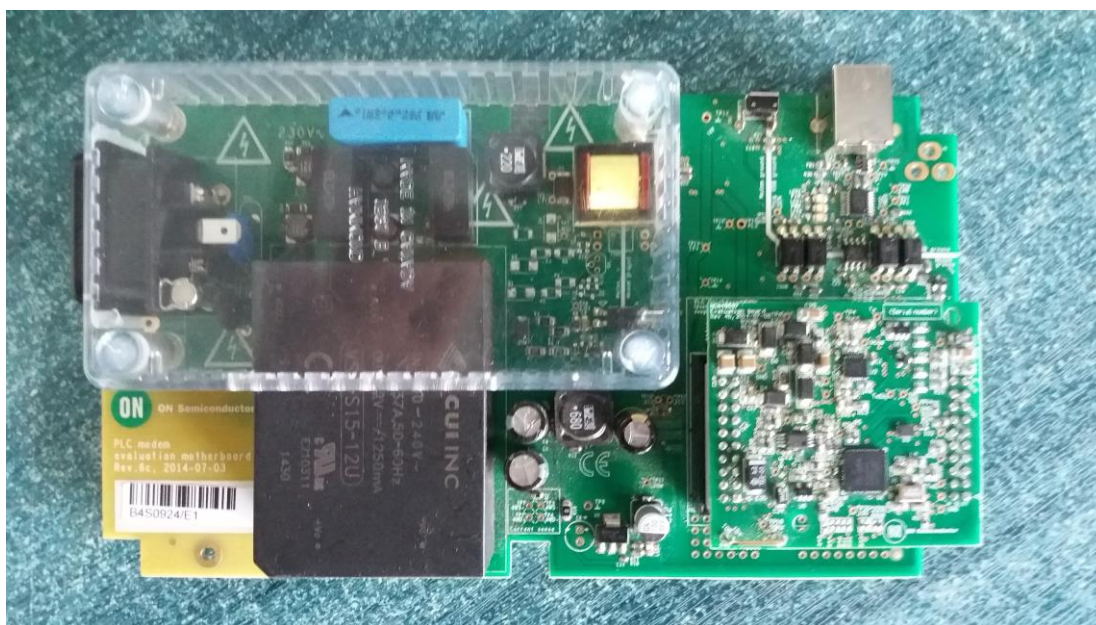
### 2.1 Introducción

En la presente tesis se usará el Kit de Evaluación NCN49597PD11GEVK el cual cuenta con el System-on-Chip NCN49597. Se hará una revisión general del dispositivo mencionado, y luego se comentará sobre el SoC montado en él, el cual es la parte fundamental del funcionamiento.

### 2.2 NCN49597PD11GEVK

El Kit de Evaluación (figura 2.2.1) permite la comunicación entre dos módems sobre la red eléctrica, gobernados por un PC, diseñado con filtros para trabajar con las frecuencias del estándar On-PL110. El kit consiste, precisamente, en dos módems. Cada uno de estos constituido por una placa madre y una placa hermana. La información de los esquemáticos está disponible en la página web del fabricante y estas están disponible dentro del anexo 4.

Los términos “placa madre” y “placa hermana” son para diferenciar dos zonas del módem. La placa hermana va conectada sobre la placa madre, como se muestra en la misma figura. En la primera es donde se encuentra el SoC NCN49597, y es donde se hace el procesamiento de la información. Es la parte principal del conjunto. En la placa madre es donde se conecta a la red eléctrica, y donde se hace la conexión al computador o al microcontrolador que dará las instrucciones



**Fig. 2.2.1 NCN49597PD11GEVK**

### 2.3 Placa madre

En esta, la placa madre (figura 2.3.1), como ya se venía indicando, es en donde se hace la conexión a la red eléctrica. Por tanto, es en donde se realiza la detección de cruce por cero y la regulación de los 3.3 y 12 volts que usa la placa hermana (figura 2.3.3), además de usar ese mismo punto como entrada y salida de información de la red y, por consiguiente, donde se hace el filtrado. Por otra parte, también es en donde se hace la comunicación serial con el dispositivo que gobierna las instrucciones, ya sea un computador con el software apropiado, o un microcontrolador conectado a los puntos Tx y Rx (figura 2.3.2).



**Fig. 2.3.1 Placa Madre**



Puntos de conexión  
Tx y Rx

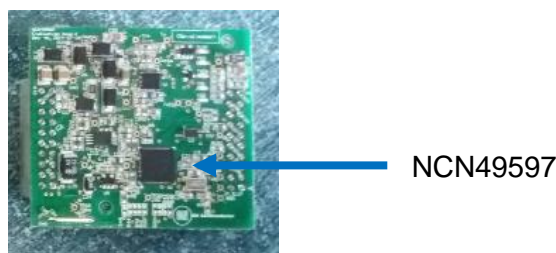
**Fig. 2.3.2 Puerto Serial**



**Fig. 2.3.3 Etapa de acoplamiento a la red y regulación**

## 2.4 Placa hermana

Como se mencionó, es la que contiene al chip NCN49597 (figura 2.4.1), y este es el que hace el procesamiento de la información; este es el módem. Acá se acondiciona las señales, con amplificadores, para el SoC indicado.



**Fig. 2.4.1 Placa Hermana**

## 2.5 NCN49597

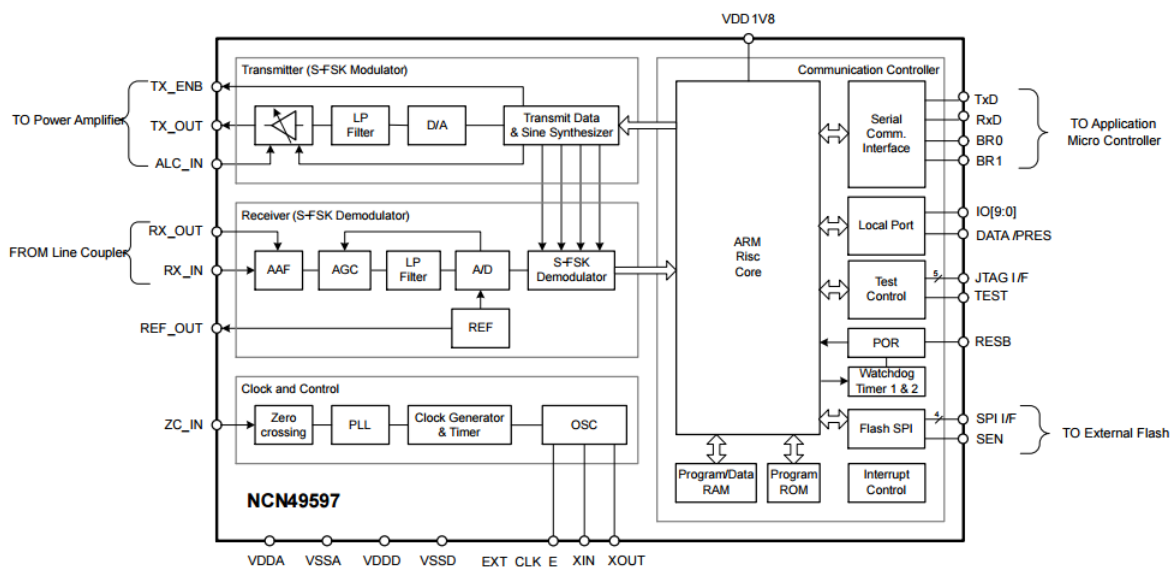
El NCN49597 es una poderosa herramienta de comunicación. Cumple con el estándar IEC 61334-5-1, el cual está definido para comunicaciones de baja velocidad a través de las líneas de baja y media tensión. Trabaja con la modulación Spread Frequency Shift Keying (S-FSK) para una comunicación Half-Duplex robusta de baja velocidad de datos, diseñado para funcionar en ambientes altamente ruidosos, con un nivel bajo de SNR y alto nivel de ruido. Puede trabajar en redes con frecuencias de 50Hz y 60Hz, y sobre corriente continua. Posee compatibilidad con todas las bandas de frecuencia de CENELEC, por lo cual, puede ser usado en aplicaciones tales como domótica, telemetría, y en la iluminación de las calles. En general, sus características lo hacen útil para aplicaciones de AMR (del inglés Remoted Automated Meter Reading, Lectura y medición remota automatizada), de automatización de edificios, de monitoreo y control de sistemas de energía solares e iluminación callejera, y de transmisión de alertas (fuego, fuga de gas, de agua, etc.).

La velocidad de transmisión de datos por la red es seleccionable y, para el caso de una comunicación sobre una red de 50 Hz, esta puede ser de: 300, 600, 1200, 2400, y 4800 baudios. Para el caso de una red eléctrica de 60 Hz, esta puede ser de: 360, 720, 1440, 2880, y 5760 baudios. Cuando los tiempos de trabajo son más críticos y se requiere velocidad en la operación, se implementa un hardware dedicado para realizar las funciones críticas. Para el caso de las funciones cuyo tiempo de ejecución no es crítico,

se hace uso del procesador ARM integrado. El módem establece comunicación con el procesador ARM a través de la interfaz de comunicación serial, el cual permite comunicación con cualquier microprocesador con un UART libre. El módem se comunica con los microcontroladores sobre una Interfaz de Comunicación Serial (SCI, en inglés), mediante dos cables: TXD y RXD. Funciona con una única alimentación de 3.3 volt y se conecta a la red a través de un driver externo de potencia y un transformador.

## 2.6 Funcionamiento

En la figura 2.6.1 se puede apreciar el diagrama en bloque del NCN49597. El diagrama es dividido en cuatro grupos principales: reloj y control, receptor, transmisor y controlador de comunicación.



**Fig. 2.6.1 Diagrama en bloque del NCN49597**

### 2.6.1 Control y reloj

El bloque de Reloj y Control provee al IC de un reloj y de las señales de sincronización requeridas para la comunicación. De acuerdo con el estándar IEC 61334-5-1, los datos son transmitidos en el cruce por cero del voltaje de la tensión de la red, por tanto, se debe de hacer una detección de cruce por cero de la señal senoidal. La información obtenida es usada por el Phased-Locked Loop (PLL), el cual sincroniza los datos a transmitir con la red. El oscilador, el cual puede estar conformado por un cristal oscilador o un reloj externo, provee una señal de 48 MHz, el cual es usado como base en todo el módem. De

hecho, el ARM toma su reloj directamente del oscilador. El generador de tiempo (Clock Generator & Timer), es el encargado de todas las señales de sincronización y de interrupción relacionadas con la comunicación S-FSK.

### 2.6.2 Transmisor

El bloque de transmisión genera las señales que serán enviadas a través del canal al módem que esté configurado como receptor. Como el NCN49597 posee una comunicación half-duplex, este circuito no está activo cuando se está recibiendo una señal. Esta etapa es controlada por el microprocesador el que entrega la secuencia de bit a enviar por el canal. El Direct Digital Synthesizer (DDS) genera una señal sinusoidal de frecuencia  $f_s$  o de frecuencia  $f_m$ . Estas frecuencias se definen en un registro de 16 bits (R\_FS y R\_FM). Un conversor digital-análogo convierte la señal seno digital en un pulso de densidad modulada (PDM). Un filtro pasa bajo de tercer orden filtra el ruido generado por la conversión digital-análoga. Típicamente, los -3dB del filtro son ubicados a los 138 KHz. La salida del filtro está acoplada a un amplificador de ganancia variable (Amplifier with Automatic Level Control, ALC). Se pueden configurar 8 atenuaciones diferentes, partiendo desde 0 dB a -21 dB, con una diferencia de -3dB entre una atenuación y la siguiente. Esto se puede configurar modificando el registro ALC\_CTRL de 3 bits. A la salida del transmisor se tiene una señal con acoplamiento en continua, por lo que se debe agregar un capacitor de desacoplo. A demás, para eliminar el segundo y tercer armónico de la señal generada es recomendable usar un filtro pasa bajo.

Cuando el módem está transmitiendo, el bloque de recepción se encuentra apagado para ahorrar energía, excepto por el filtro pasa bajo, el cual es compartido entre el receptor y el transmisor.

### 2.6.3 Receptor

El bloque de recepción toma la señal S-FSK de la red eléctrica y demodula en un flujo de datos, entregándosela al controlador de comunicación. Usualmente se requiere un circuito externo extra para filtrar las frecuencias de interés dentro del canal de comunicación. Un acoplador de línea acopla el canal de comunicación a la entrada de baja tensión del módem. Idealmente, la señal entregada por el acoplador debería contener, únicamente, la señal enviada por el transmisor, pero es normal que queden remanentes de 50 Hz o 60 Hz. Estos pueden, muy fácilmente, sobrecargar el IC. Por este motivo, se incluye dentro

un amplificador operacional de bajo nivel de ruido, con ganancia unitaria, el cual puede ser usado para suprimir los armónicos de 50 Hz o 60 Hz, agregando cuatro componentes pasivos externos. El receptor cuenta con, además, un filtro de tercer orden, el mismo que el del receptor ya que están compartidos. La señal filtrada es ingresada al conversor análogo-digital. Los niveles de referencia necesarios en la conversión son entregados por el bloque REF. Con el objetivo de aumentar el rango del CAD, el receptor incluye un Amplificador con Automatic Gain Control (AGC), cuya ganancia puede ser modificada en 8 ganancias, partiendo desde 0 dB hasta los -42 dB, con diferencia de -6 dB entre una ganancia y la siguiente. El control de la ganancia es realizado por un circuito digital el cual mide la señal de salida del CAD y modifica la ganancia del amplificador hasta que el valor medio de la señal se encuentra dentro de una ventana alrededor de un porcentaje de la escala completa.

#### **2.6.4 Controlador de comunicación**

En el controlador de comunicación se encuentra como núcleo el microprocesador ARM Cortex M0, el cual comanda todas las acciones del modem. Es el encargado de indicar al transmisor la información a enviar, y de procesar la información recibida en el receptor. Posee 10 puertos de entrada y salida (I/O), todas de propósito general (GPIO), los cuales pueden ser configurados como entrada o salida. Todos soportan tensiones de 5 volt. La Interfaz de Comunicación Serial (SCI) permite una comunicación asincrónica con cualquier dispositivo que acepte el estándar de comunicación UART. El watchdog supervisa al procesador y, en el caso de que el firmware no reconozca una señal de tiempo periódico, se asume un error y se genera un Hard Reset en el sistema.

#### **2.7 Firmware**

Mientras el modem esté encendido y operando, el firmware es almacenado en la memoria RAM. Como esta memoria es volátil, el firmware debe ser cargado nuevamente después de un reset. El NCN49597 ofrece dos métodos para realizar esta operación: Una forma es que el usuario cargue el firmware al módem. La otra forma es que, autónomamente, el NCN49597 recupere el firmware desde una memoria SPI externa conectada. En este último caso, durante el reset, el programa de arranque en el modem recupera el firmware desde la memoria externa.

En este trabajo de título, el firmware será cargado por el usuario desde el software destinado al manejo de la comunicación.

## 2.8 Protocolo HDLC

A través de la comunicación serial, la información se entrega siguiendo el protocolo HDLC o Control de Enlace de Datos de Alto Nivel (del inglés High-Level Data Link Control).

En este protocolo, la comunicación es sincrónica y la información se envía en un formato establecido denominado trama. El formato de esta trama (figura 2.8.1), consiste en:

- a) Bandera de inicio: consiste en un byte fijado como 7E que indica el inicio de la trama
- b) Dirección: uno o más bytes que indican el destino de la trama
- c) Control: uno o dos bytes que indican el propósito de la trama
- d) Información: De longitud variable, contiene la información que se desea entregar
- e) Control de errores: dos o cuatro bytes para que el receptor confirme la exactitud de la información entregada
- f) Bandera de término: al igual que la bandera de inicio, consiste en un byte definido como 7E que indica el fin de la trama

Trama HDLC



**Fig2.8.1 Trama HDLC**

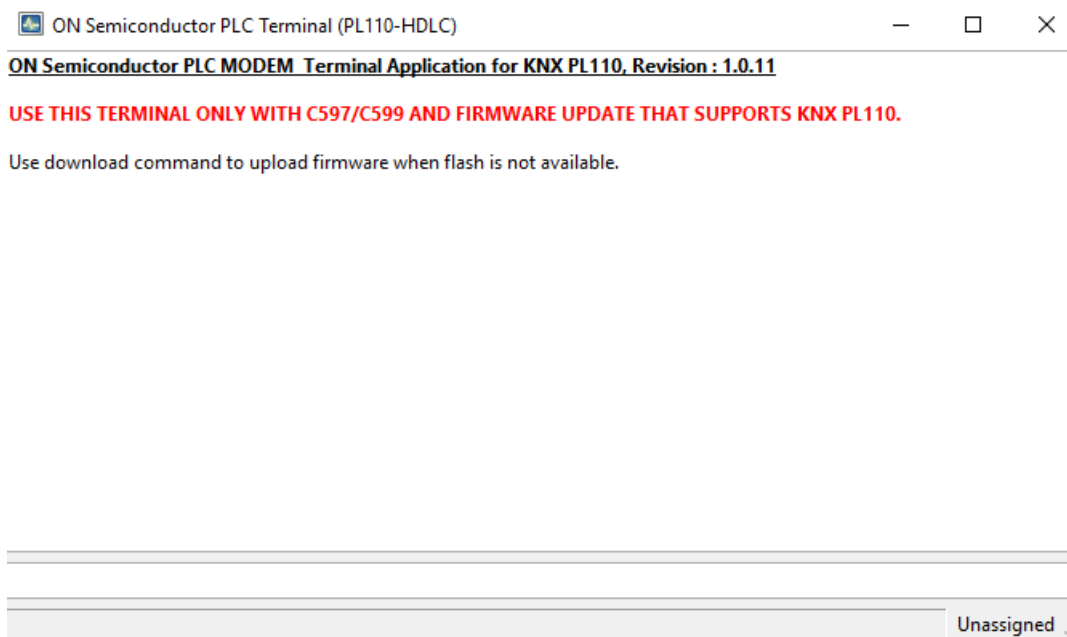
El protocolo en cuestión implica tres etapas: a) inicio del enlace de datos, de modo que el intercambio de tramas sea de manera ordenado. Todos los receptores conectados en una red de comunicación que sigan este protocolo están continuamente buscando la bandera de inicio, b) intercambio de información, donde, además, se verifica para quién es la información entrega por el usuario, y se realiza el control de errores, y c) fin de la comunicación, indicado por una bandera, la cual puede servir de inicio para la trama siguiente.

## CAPITULO 3. SOFTWARE

### 3.1 Introducción

En este capítulo se da a conocer sobre los programas, comandos, entre algunos temas de importancia que van a controlar las placas para llevar a cabo la comunicación, todo esto para poder conocer las funciones necesarias proporcionados por el PLC-Terminal que se deben conocer para poder controlar las placas.

### 3.2 PLC Terminal



**Fig. 3.2.1 PLC Terminal**

El terminal diseñado por ON Semiconductor para establecer comunicación entre un computador y el módem PLC es el software PLC Terminal (fig 3.2.1). Mediante este programa, teniendo previamente energizado el módem con el cable de poder, y conectado al PC por el cable USB, se pueden utilizar una serie de comandos para, entre otras cosas, establecer comunicación desde el módem que se está controlando a otro módem conectado en la misma red eléctrica, establecer parámetros como dirección y dominio mac, y leer parámetros del dispositivo.

Usando el comando “Help” (figura 3.2.2), desde el terminal, se puede acceder al listado de comandos que controlan el módem, con información sus parámetros y su función.

```

ON Semiconductor PLC Terminal (PL110-HDLC)
11:12:36.290 help
Use the following commands to control the modem:
save      , parameters: [file name] --> save log to file
version   , parameters: none --> show version info
exit      , parameters: none --> close the terminal application
open      , parameters: [port],[baud] --> Open serial port
close     , parameters: none --> Close serial port
ports     , parameters: none --> List all serial ports with their status
oids      , parameters: none --> Show all MIB object IDs
set       , parameters: [parameter]=[value] --> Write a parameter to the MODEM
get       , parameters: [parameter] --> Read a parameter from the MODEM
iset      , parameters: [parameter],[index],[value] --> Write indexed parameter to the MODEM
iget      , parameters: [parameter],[index] --> Read indexed parameter from the MODEM
reset     , parameters: none --> reset the MODEM
log       , parameters: [level] --> set the logging level
spy       , parameters: none --> Pop up window with spy data
txphy     , parameters: [num],[cnt],[bit] --> Transmit dummy PHY pdu with specific bit timing
txmac     , parameters: [num],[dmac],[dom],[cnt],[flgs] --> Transmit dummy MAC pdu
txmacm    , parameters: [num],[dmac],[dom],[flgs],[userdata] --> Transmit MAC pdu with the given user data in payload
stop      , parameters: none --> Stop all activity
rts       , parameters: [level] --> Set RTS pin to 1 or 0
dtr       , parameters: [level] --> Set DTR pin to 1 or 0
clear     , parameters: none --> Clears the screen
script    , parameters: [file name] --> Name of script file
print     , parameters: [string] --> Print string to terminal
pause     , parameters: [sec] --> Number of seconds to pause
download  , parameters: [file name] --> Download a binary over the UART
test      , parameters: [mode],[gain],[fm],[fs] --> Start test mode
txdelay   , parameters: [msec] --> Set the pause time between transmit requests
cdir      , parameters: [directory path] --> Set the current working directory
11:12:36.294 End of help
|
?

```

**Fig. 3.2.2 Comandos mostrados por el terminal, al usar la función HELP**

### 3.3 Comandos de importancia

Si bien los 28 comandos del listado son de utilidad, hay 8 mínimos para poder establecer una comunicación, los cuales están descritos en la tabla a continuación (tabla 2).

**Tabla 2 Comandos principales**

| Comando | Función   | Sintáxis                 |
|---------|---|--------------------------|
| Set     | Fijar parámetros, como la dirección o el dominio, en el módem | Set [parámetro]= [valor] |
| Get     | Fijar parámetros, como la                                     | Get [parámetro]          |

|          |   |   |
|----------|---|---|
|          | dirección o el dominio, en el módem   |   |
| Ports    | Muestra una lista de todos los puertos seriales y sus estados   | Ports   |
| Open     | Abre el puerto serial seleccionado, a la velocidad seleccionada                                       | Open com [puerto], [velocidad en baudios]   |
| Close    | Cierra el puerto serial indicado  | Close [puerto]  |
| Txmacm   | Transmite información del usuario (sólo valores numéricos), dentro de un dominio de comunicación MAC. | Txmacm [número de transmisiones], [dirección MAC], [dominio MAC], [bandera], [dato de usuario] (el dato del usuario debe ser un número en decimal menor o igual a 4294967295) |
| Download | Permite subir un archivo .bin al módem  | Download [directorio]   |
| Stop     | Detiene la transmisión  | Stop  |

Se debe considerar que cuando se envía un valor numérico, si bien debe ser escrito en decimal, este se transforma en un valor hexadecimal.

### 3.4 Inicialización

Para poder inicializar la comunicación entre ambos módems primero se debe abrir el puerto COM en el cual está conectado el dispositivo a la velocidad de 115200 baudios. Esta velocidad viene fijada por hardware. Además, se deben fijar ciertos parámetros importantes para la comunicación en una red MAC. En este caso, se deben dar valores para la dirección MAC, dominio MAC y modo de funcionamiento.

En la tabla 3 se muestran los comandos para inicializar el módem y fijar sus parámetros.

**Tabla 3 Comandos de inicialización**

| Comandos   | Observación  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ports</li> <li>• Open com XX, 115200</li> <li>• Set 1000 = X</li> <li>• Set 1002 = X</li> <li>• Set 4102 = 1</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Se identifica el número del puerto</li> <li>• Donde XX es el número del puerto a usar</li> <li>• Se fija la dirección MAC en X</li> <li>• Se fija el dominio MAC en X</li> <li>• Se fija el funcionamiento en el modo ON</li> </ul> |

Como dominio MAC soporta 9 dominios distintos, con 63 direcciones distintas, partiendo desde la dirección 0.

### 3.5 Comunicación

Como se indicó en el punto 1.1 de este capítulo, para transmitir información del usuario utilizamos el comando txmacm. Esta información se escribe en decimal, pero se transmite en hexadecimal de 4 bytes.

### 3.6 IDE de Arduino

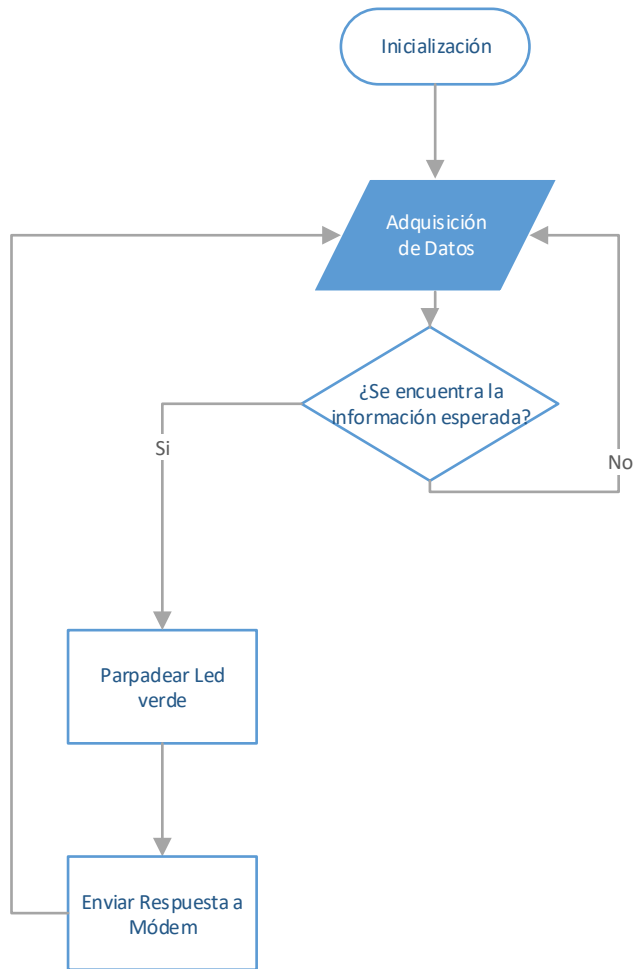
Para programar en arduino usamos el software Arduino, el cual es el entorno de desarrollo para desarrollar aplicaciones en esta plataforma.

El código montado en el Arduino debía ser capaz de procesar la información de entrada, analizar y tomar una decisión.

### 3.7 Programación

La estructura de programación fue diseñada para que el Arduino recibiera la trama desde el módem, byte por byte, identificara el byte con la información del usuario transmitida desde el terminal, en el otro extremo de la comunicación, ejecutara una acción, y luego le indicara al módem comandado por él que le enviara una trama al módem principal para habilitarlo y poder seguir enviando información. La información contenida en la trama de respuesta no tiene relevancia.

El diagrama en bloques de la figura 3.7.1 indica la lógica diseñada. El código se encuentra dentro del anexo 3



**Fig. 3.7.1 Comandos mostrados por el terminal, al usar la función HELP**

## CAPITULO 4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

### 4.1 Introducción

En este capítulo se indicarán las pruebas realizadas con el dispositivo de comunicación, los conexiones realizados, y los resultados obtenidos de estas evaluaciones. Se inicia con el testeado de un prototipo de comunicación, donde uno de los módems es gobernado por un microcontrolador, y luego se mostrarán las pruebas de comunicación dentro del edificio del Gantes, en la Universidad del Bío-Bío.

### 4.2 Prueba básica de comunicación

Siguiendo el objetivo buscado, se implementó un conexionado entre módem A y módem B, comandados por el terminal PLC Terminal, desde un computador, y por un microcontrolador Arduino Uno, respectivamente. El módem A, a través del terminal, le envía una trama al módem B, el cual acciona una luz led en función de la información contenida en la trama. Dado el funcionamiento de la comunicación, para que el módem A pueda volverle a enviar información al módem B, este último debe responder inmediatamente al recibir una trama y así habilitar al otro módem para que pueda volver a transmitir.

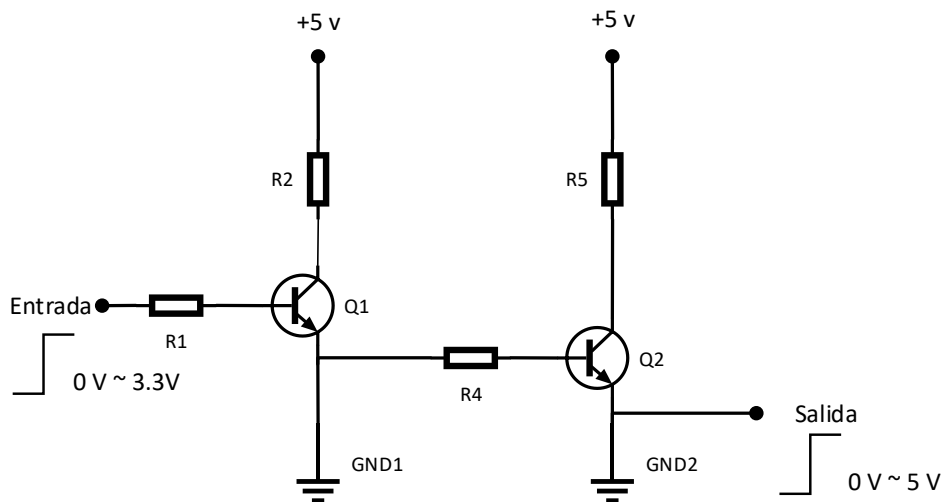


Fig. 4.2.1 Circuito para adaptar señales lógicas

Además, como el transmisor y receptor PLC viene diseñado, por hardware, para trabajar con señales lógicas de 3.3 volts entre el microcontrolador y el NCN49597, se debieron adaptar las señales transmitidas por el módem hacia el Arduino, ya que este último trabaja con señales lógicas de 5 volts. Para esto se implementó un circuito sencillo, mostrado en la figura 4.1. Las señales de salida del Arduino hacia el módem no fueron necesarias adaptarlas, ya que eran entendidas por la EVK.

Para adaptar las tensiones se utilizaron transistores que funcionaban en corte y saturación, diseñando un esquema sencillo mostrado en la figura 4.2.1.

La figura 4.2.2 muestra la conexión implementada del arduino con el módem.



**Fig. 4.2.2 Conexión arduino-módem**

La primera prueba de comunicación consistió en probar el setup con el microcontrolador arduino, con el objetivo de poder testear la comunicación serial entre el módem y el microcontrolador y, con esto, diseñando un prototipo para futuras aplicaciones.

Para esta prueba, desde un módem conectado a un computador, a través del terminal de Onsemi, se envió el valor "33" (cuya conversión a hexadecimal lo deja en 0x21). En el segundo módem, conectado a un arduino UNO, se recibirá la trama enviada, se buscará la información de usuario con el valor 0x21 en la misma, y se cambiará el estado de un led conectado al pin 13, de prendido a apagado, o viceversa, dependiendo del estado en el que se encuentre. Este, además, enviará una respuesta al módem de origen, con la misma información. Se debe tener en consideración que el módem destino tiene el

firmware precargado desde un computador, y configurado con una dirección MAC igual a 2, dentro de un dominio MAC igual a 1.

El comando a enviar, por tanto, sería:

- Txmacm 1, 2, 1, 0, 33

En la figura 4.2.3 se muestra al terminal enviándole la información deseada al módem de destino.

Como se puede notar, la información del usuario está contenida en 4 bytes, desde el 9 al 12. Para este caso particular, el valor 0x21 se encuentra en el byte 12, y es ahí donde se debe buscar la información.

En la figura 4.4 se puede mostrar el resultado final de la prueba, en la que se le envía el valor deseado mediante el comando txmacm, y el módem receptor responde con una trama, del mismo valor, programada.

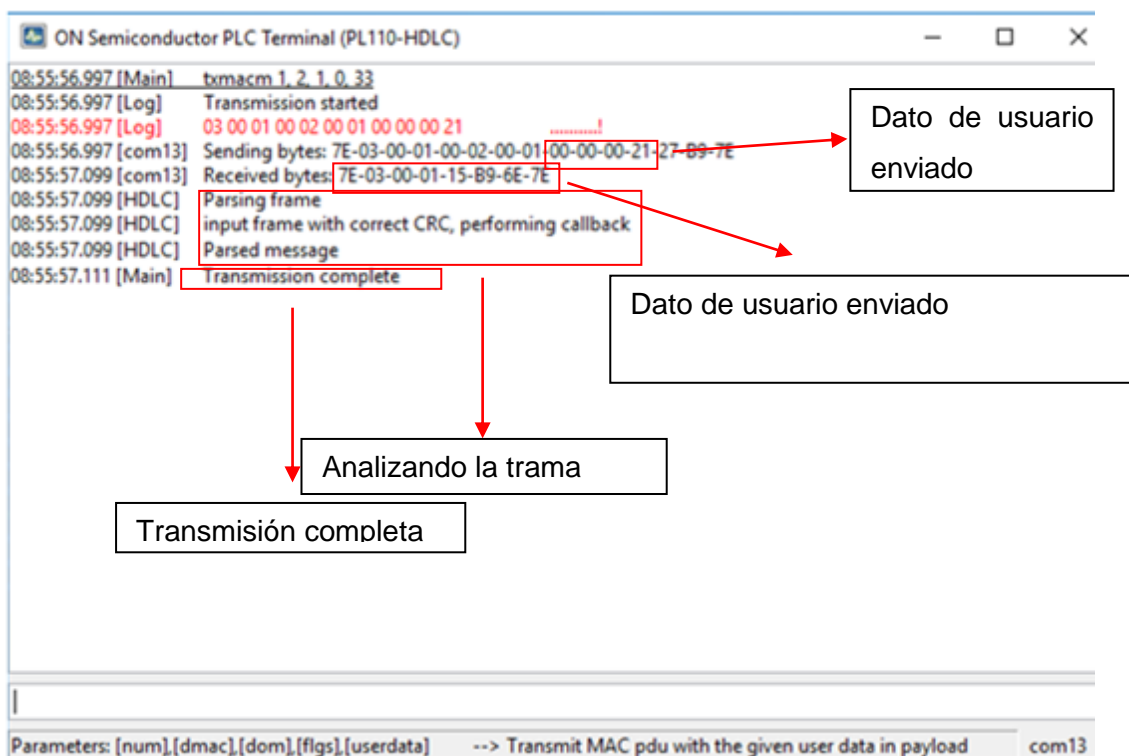
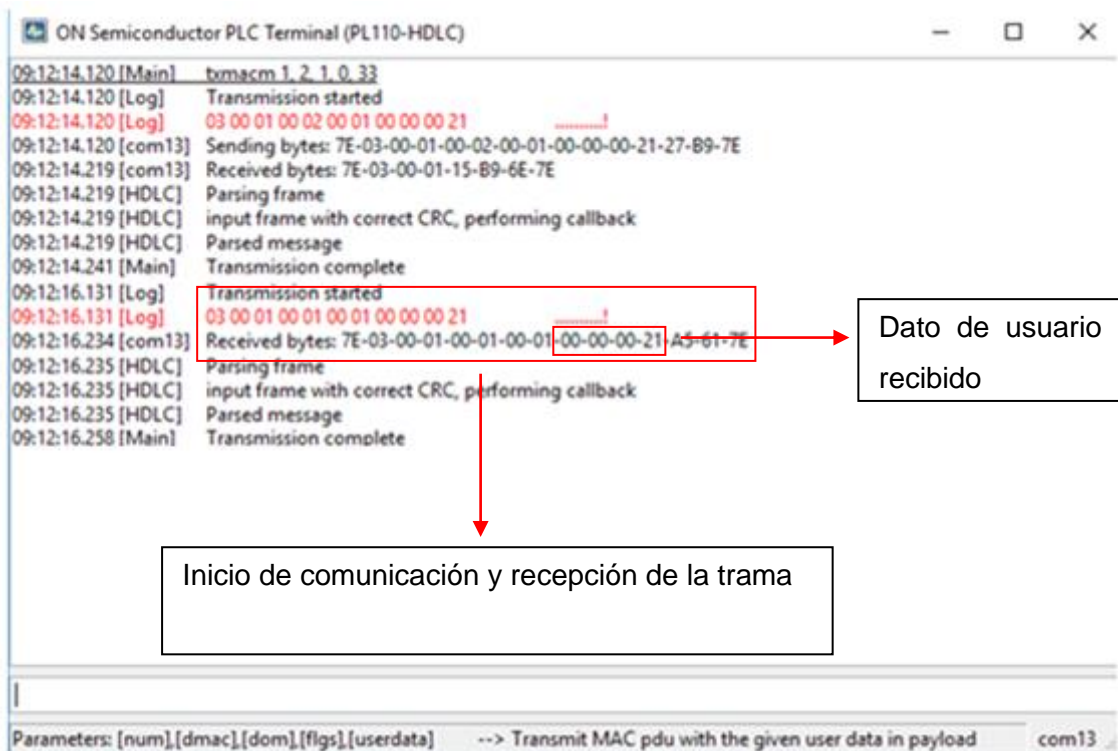


Fig. 4.2.3 Comunicación a Módem



**Fig. 4.2.4 Comunicación entre ambos módems**

En la figura 231 se puede apreciar la trama que se envía al ejecutar el comando:

- Sending bytes: 7E-03-00-01-00-02-00-01-00-00-00-21-27-B9-7E

En la tabla 4 se muestran los detalles de la trama.

**Tabla 4 Bytes del comando txmacm**

|                              |      |                 |
|------------------------------|------|-----------------|
| Bandera de inicio            | 7E   |                 |
| Dirección                    | 03   |                 |
| Control                      | 00   |                 |
| Inicio de código operacional | 01   |                 |
| Payload                      | Byte | Nombre          |
|                              | 1    | Bandera         |
|                              | 2    | Destino         |
|                              | 3    | --              |
|                              | 4    | Dominio         |
|                              | 5    | Dato de usuario |

|                         |     |                 |
|-------------------------|-----|-----------------|
|                         | 7   | Dato de usuario |
|                         | 8   |                 |
| CRC                     | xxh |                 |
|                         | xxh |                 |
| Bandera de finalización | 7E  |                 |

Dentro de la información proporcionada en el manual del fabricante se explica el detalle del byte 1 del payload, el cual se indica en la tabla 5.

**Tabla 5 Bandera de transmisión**

| Bit | Función       | Valor (bits) | Descripción          |
|-----|---------------|--------------|----------------------|
| 0-1 | Prioridad     | 00           | Sistema              |
|     |               | 01           | Normal               |
|     |               | 10           | Urgente              |
|     |               | 11           | Baja                 |
| 2   | Tipo de trama | 0            | Extendida            |
|     |               | 1            | Estándar             |
| 3   | Repetición    | 0            | No repetir           |
|     |               | 1            | Repetir              |
| 4   | Destino       | 0            | Dirección individual |
|     |               | 1            | Dirección grupal     |
| 5-7 | 000           |              |                      |

Entonces, por ejemplo, si se quisiera enviar un dato de usuario con prioridad urgente, con tipo de trama estándar, sin repetición y a una dirección grupal, la bandera tomaría el valor de (en binario):

- 00010110

Lo que, en decimal, vendría siendo 22.

En la práctica, este comando toma relevancia en una red con varios dispositivos conectados. Para las pruebas de este trabajo, se fijará con valor 0.

### 4.3 Resultados

Con este prototipo de comunicación se lograron pruebas exitosas. Esto sienta las bases para futuras aplicaciones donde se requiera transmitir información de usuario por la red eléctrica, bajo un dominio MAC.

### 4.4 Pruebas de comunicación en edificio gantes de la universidad del Bío Bío

Para asegurar una comunicación estable entre las placas, se propuso a realizar pruebas de comunicación entre estas, con tiempos y distancias determinadas, en las dependencias de la universidad.

Estas pruebas se realizaron con el terminal PLC de Onsemi, desde un computador, en cada módem tomando como puntos de comunicación, salas, laboratorios, pasillos del edificio.

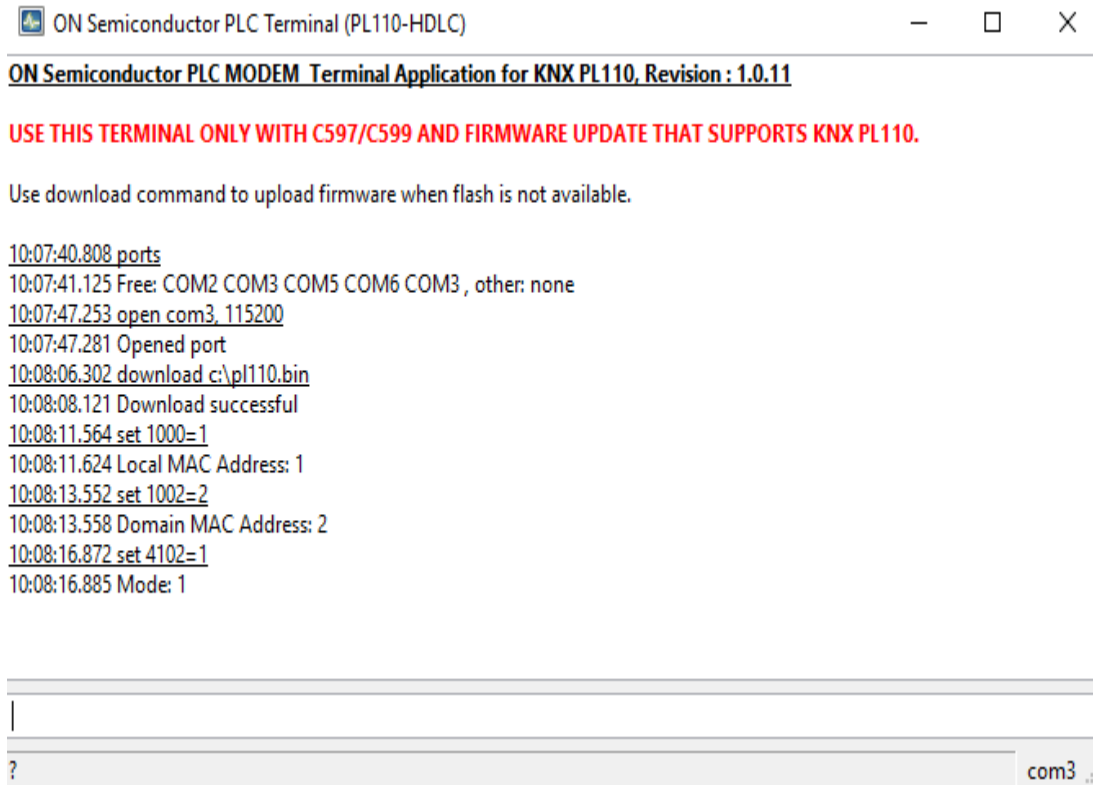
La prueba a realizar se diseñó con el objetivo de enviar continuamente un dato de usuario, durante un instante de tiempo dado, con el fin de ver cuantos errores se podrían observar al realizar la comunicación

Para este setup se inicializaron los módems desde el terminal, tal como se muestra en las figuras 4.4.1 y 4.4.2, para ambos dispositivos.

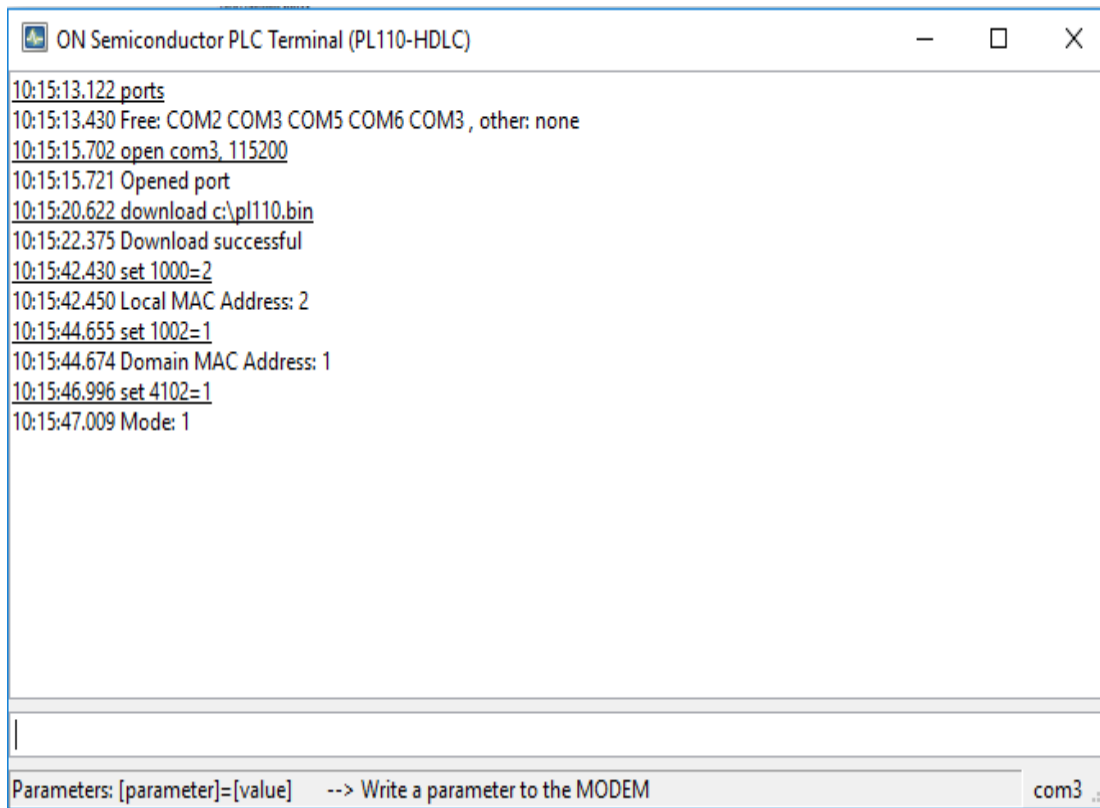
Las siguientes pruebas consistieron en enviar el dato de usuario 4294967295, correspondiente al valor 0xFFFF FFFF. Aprovechando los parámetros del comando txmacm, específicamente el primer valor exigido, se dio un valor tal que se realice una transmisión desde un módem a otro las veces seleccionadas. Para esto, en ambos módems se ingresó el mismo valor para el primer parámetro del comando seleccionado, para que se lleve a cabo una comunicación simultánea entre ambos dispositivos. Además, se fijó un delay de 1 segundo, con el comando txdelay, para que en cada segundo se envíe una trama por cada módem. Por tanto, después de setear cada módem, se ingresaron los comandos:

- Txdelay 1000
- Log 2
- Txmacm 1000, dirección MAC, 1, 0, 4294967295

También se ajustó el nivel de loggin en 2, considerando la cantidad de información mostrada. Esto queda mostrado en la figura 4.4.3, con un módem de ejemplo.



**Fig. 4.4.1 Configuración modem A**



**Fig. 4.4.2 Configuración modem B**

```

05:34:57.222 ports
05:34:57.235 Error opening port: El puerto 'COM3' no existe.
05:34:57.247 Error opening port: El puerto 'COM6' no existe.
05:34:57.382 Free: COM2 COM5 COM13 , other: COM3 COM6
05:35:00.369 open com13, 115200
05:35:00.391 Opened port
05:35:03.985 download c:\pl110.bin
05:35:05.878 Download successful
05:35:10.423 set 1000=1
05:35:10.453 Local MAC Address: 1
05:35:11.920 set 1002=1
05:35:11.938 Domain MAC Address: 1
05:35:13.933 set 4102=1
05:35:13.954 Mode: 1
05:35:20.305 txdelay 1000
05:35:20.306 TX Delay set
05:35:21.920 log 2
05:35:21.921 [Main] Logging level set

txmacm 1000, 2, 1, 0, 4294967295

Parameters: [num],[dmac],[dom],[flgs],[userdata] --> Transmit MAC pdu with the given user data in payload com13

```

**Fig. 4.4.3 Comandos ingresados para las pruebas de comunicación**

Cabe indicar que el nivel de logging se ajustó en 2, ya que en nivel 1, que es el por defecto, no muestra la información transmitida, sólo indica que se realizó una transmisión, y en el nivel 3 sólo muestra una trama extra, la que se indicó en el capítulo 4.

El número de transmisiones especificado en el comando txmacm se fijó en 1000, para tener 1000 transmisiones desde un módem a otro, teniendo un total de 2000 transmisiones entre ambos. Considerando el tiempo de un segundo cada dos tramas, se dio un tiempo de transmisión de 1000 segundos. Como se indicará en el punto 2.4 del presente capítulo, para la prueba realizada dentro del pasillo del edificio Gantes se consideró más tiempo de prueba y, por tanto, más tramas enviadas.

Para revisar si la comunicación se realizó correctamente, se leyó trama a trama, del total enviada, verificando que todas contengan el dato de usuario enviado.

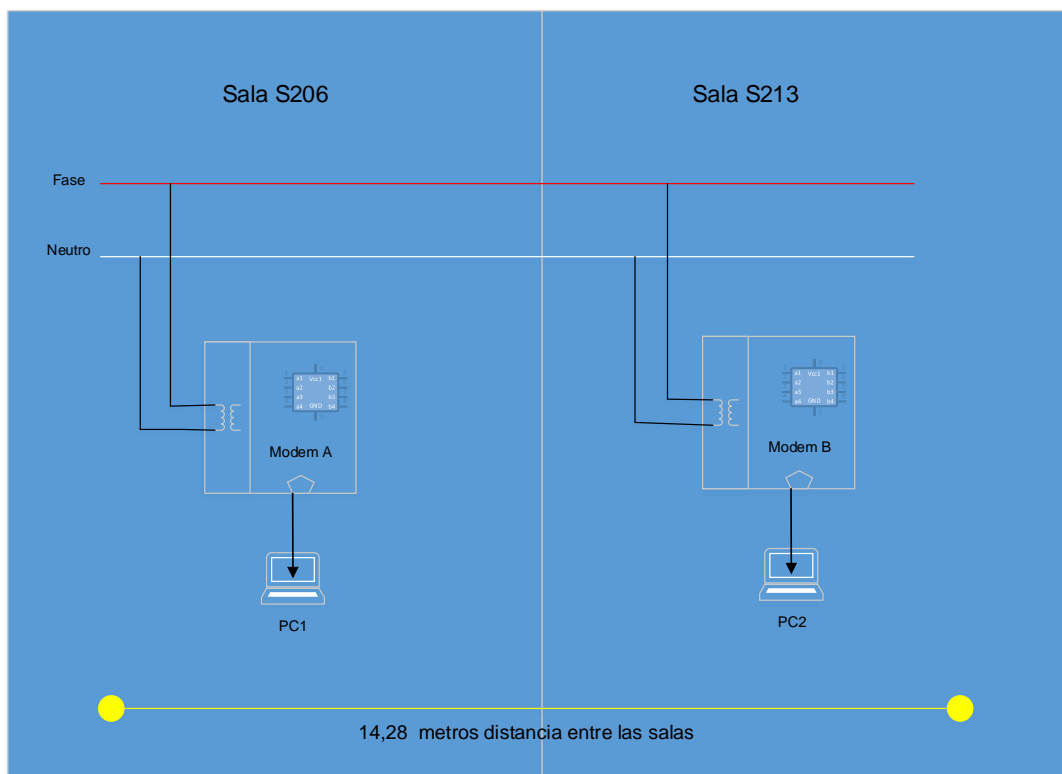
#### **4.4.1 Comunicación entre salas del edificio Gantes (s213 y s206)**

La prueba en si se realizó de una sala a la siguiente. Primero se configuraron ambas placas, una vez configuradas para realizar la prueba se dio inicio a la comunicación, con un cierto grado de incertidumbre si se llegaría a realizar ya que en otros casos no se

realizaba por temas de distintas fases de la línea eléctrica (instalaciones eléctricas nuevas realizadas en el edificio, vistas en laboratorios y pasillos).

La comunicación entre salas, a pesar de la incertidumbre presente, se realizó con éxito, terminando con la transmisión de los datos en el tiempo estimado, según su trama a enviar. Una vez terminada la comunicación, se procedió a ver si hubo errores en la transmisión de los datos, esto se puede ver en el PLC-terminal que se utiliza a la vez para hacer la comunicación entre las placas. Luego de ver cada dato enviado y recibido se logra concluir que la transmisión fue de un 100%, cumpliendo con los objetivos esperados.

En la figura 4.4.4 adjunta se aprecia cómo se lleva a cabo la comunicación de las placas a modo resumen.



**Fig. 4.4.4 Esquema de comunicación entre salas S206 y S213**

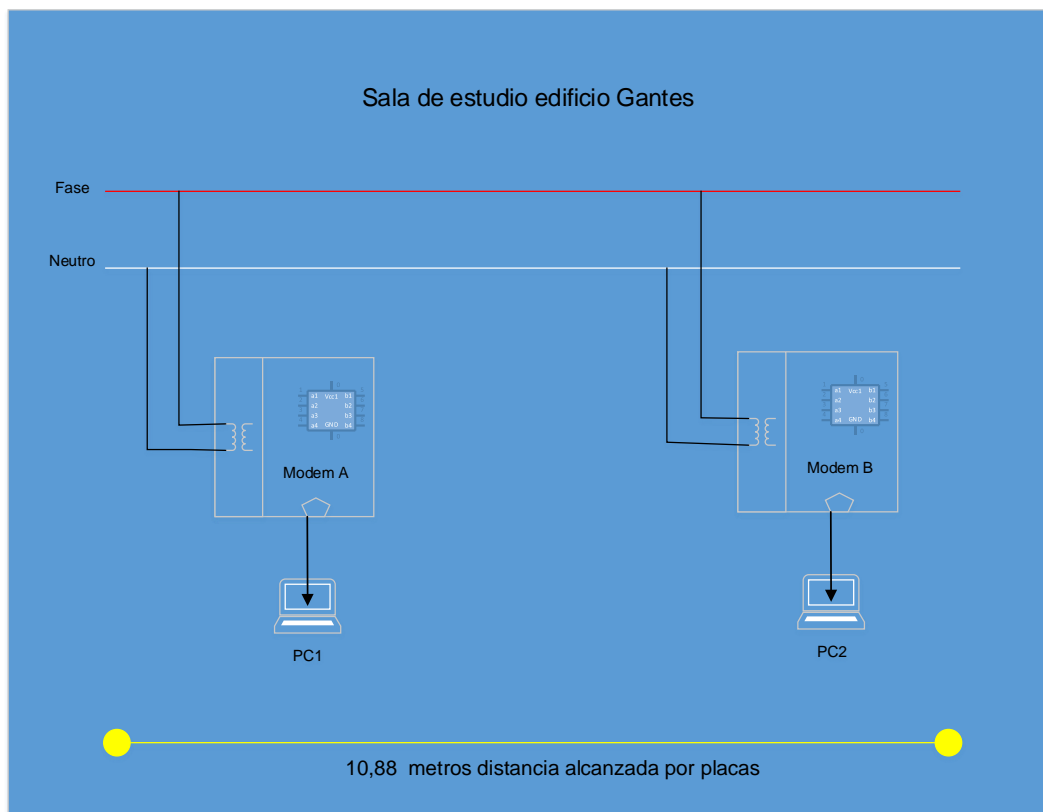
#### 4.4.2 Comunicación en sala de estudio del edificio Gantes

Se cargaron los mismos datos que los establecidos para la comunicación en el pasillo, con el objetivo de poder asegurar la comunicación por la red adentro de la sala de estudios, abarcando la mayor distancia posible en el lugar.

Se apreciaba que existía una instalación eléctrica agregada recientemente, lo que nos hizo suponer que la comunicación no se iba a lograr. Al realizar la prueba, efectivamente no se efectuó la comunicación.

Para poder llevar a cabo la comunicación, se buscó la mayor distancia posible sin salirse de una misma red eléctrica.

La figura 4.4.5 muestra el esquema de comunicación realizado para esta prueba.



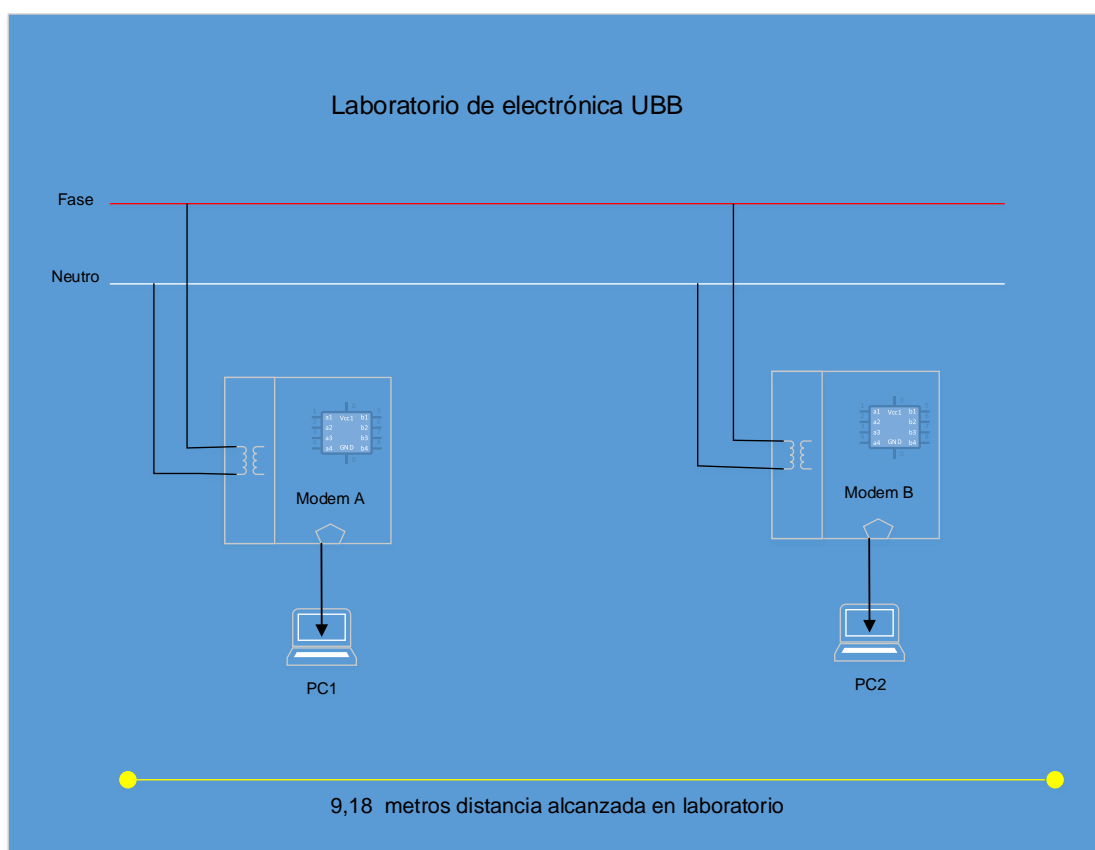
**Fig. 4.4.5 Esquema de comunicación dentro de la Sala de Estudios**

#### 4.4.3 Comunicación en laboratorio de electrónica básica.

Al igual que la prueba anterior, se procede a conectar las placas a la red eléctrica, con el fin de poder realizar la comunicación y poder observar la cantidad de errores posibles que se puedan producir al momento de comunicarse, esto gracias al terminal PLC.

Una vez configurados los modems se procede a dar comienzo a la comunicación entre ellos, observando mediante al terminal PLC, cada dato que es enviado y recibido en los módems, y verificando si se registran errores en la comunicación.

Una vez realizada la prueba con normalidad y éxito, se procede a ir probando distancias para observar hasta qué punto se podría llegar. La comunicación dentro del laboratorio se logra con éxito desde cualquier punto de la red a conectar, diferente es el caso al querer hacer la comunicación desde el interior del laboratorio con el pasillo del mismo piso, dejando en evidencia una vez más, que no es posible la comunicación si no se está en la misma fase de una red. El diagrama de conexión se encuentra en la figura 4.4.6.



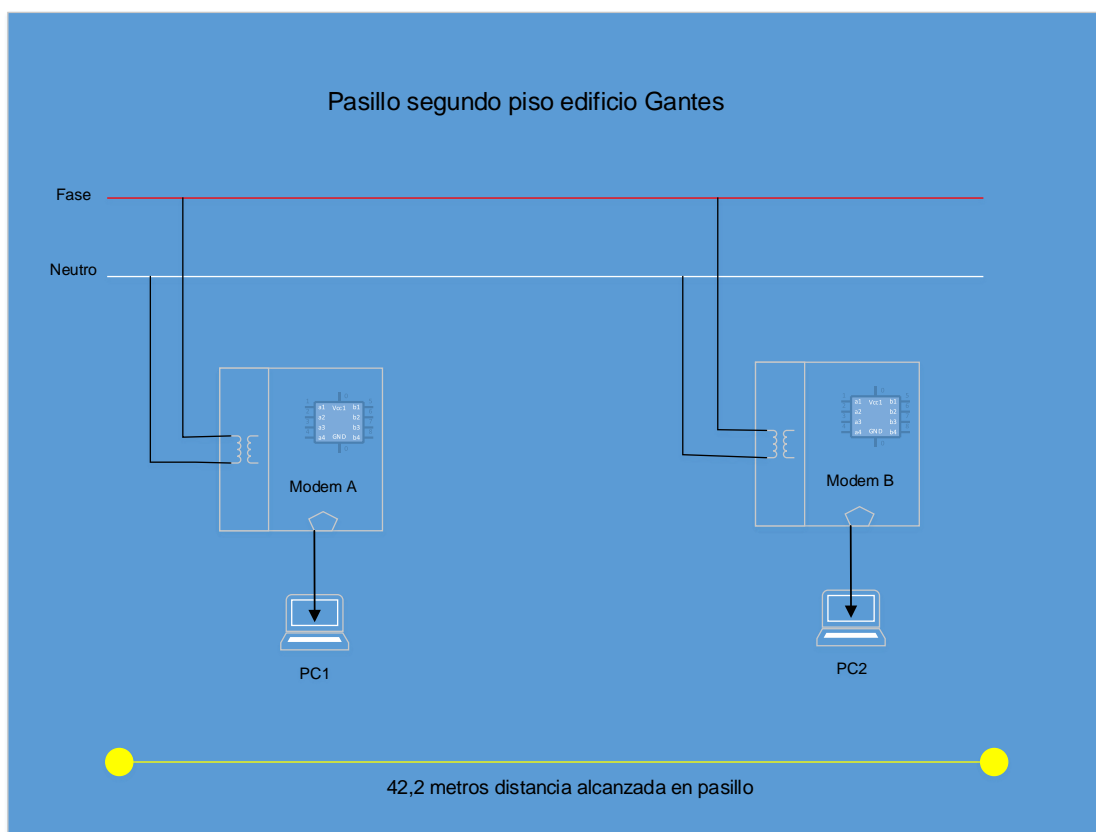
**Fig. 4.4.6 Esquema de comunicación dentro del Laboratorio de Electrónica**

#### **4.4.4 Comunicación en pasillo del segundo piso del edificio Gantes**

Como en las pruebas anteriores, se hicieron los mismos pasos para poder realizar la comunicación de las placas dentro del pasillo del segundo piso del edificio Gantes, pero dando más tiempo de comunicación, ya que en esta prueba fue donde se consiguió la mayor distancia de comunicación. El objetivo era poder observar cuántos errores en la

transmisión se daban al estar transmitiendo durante un período de tiempo mayor, con la mayor distancia posible.

Se buscó la mayor distancia posible para poder realizar esta prueba, conectando un módem al primer enchufe del pasillo, y conectando el segundo módem enchufe por enchufe, revisando cuándo la comunicación se cortaba definitivamente, producto de que ambos se encontraran en redes diferentes. Se determinó que la mayor distancia que se podría abarcar sería la de 42,2 metros.

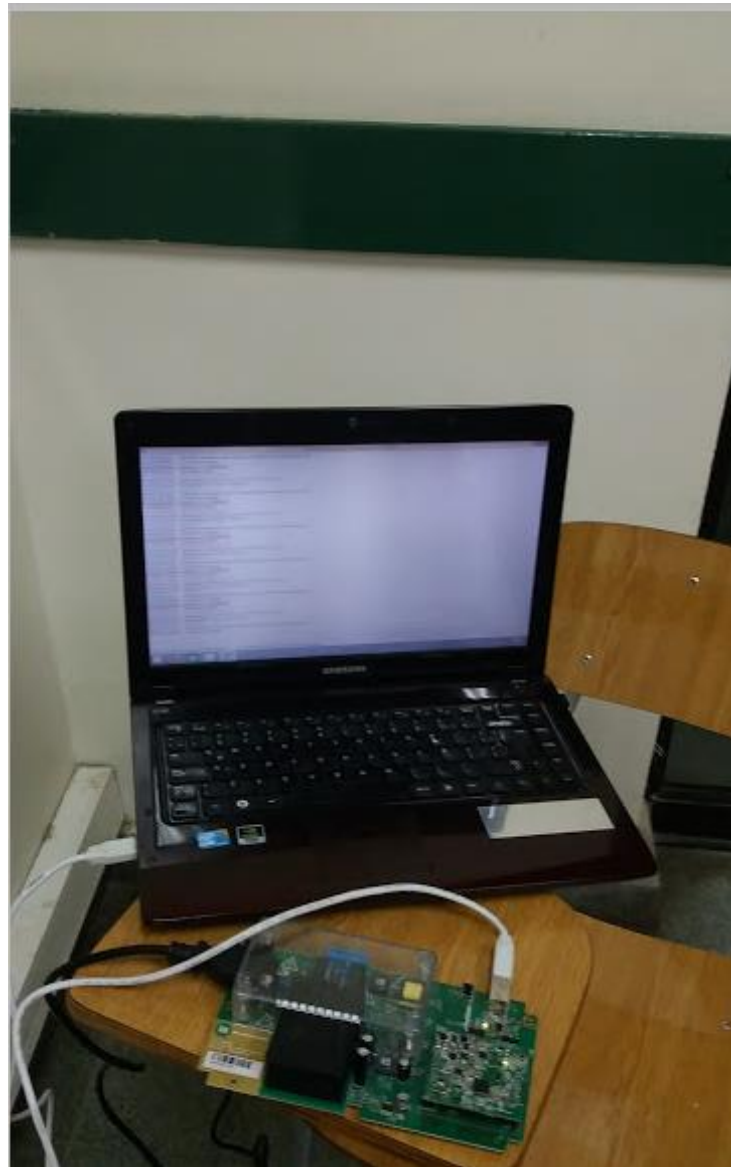


**Fig. 4.4.7 Esquema de comunicación en el pasillo del segundo piso del Edificio del Gantes**

En la figura 4.4.7 se muestra el esquema de comunicación.

Terminada la comunicación se visualizó en el PLC-terminal si hubo errores en la comunicación, revisando los datos enviados y recibidos, corroborando que no hubo errores en ninguna trama transmitida.

En las siguientes figuras se muestran las conexiones realizadas, y la información entregada por el terminal.



**Fig. 4.4.8 Módem A conectado a la red eléctrica dentro del pasillo del Edificio del Gantes**



**Fig. 4.4.9 Módem B conectado a la red eléctrica dentro del pasillo del Edificio del Gantes**

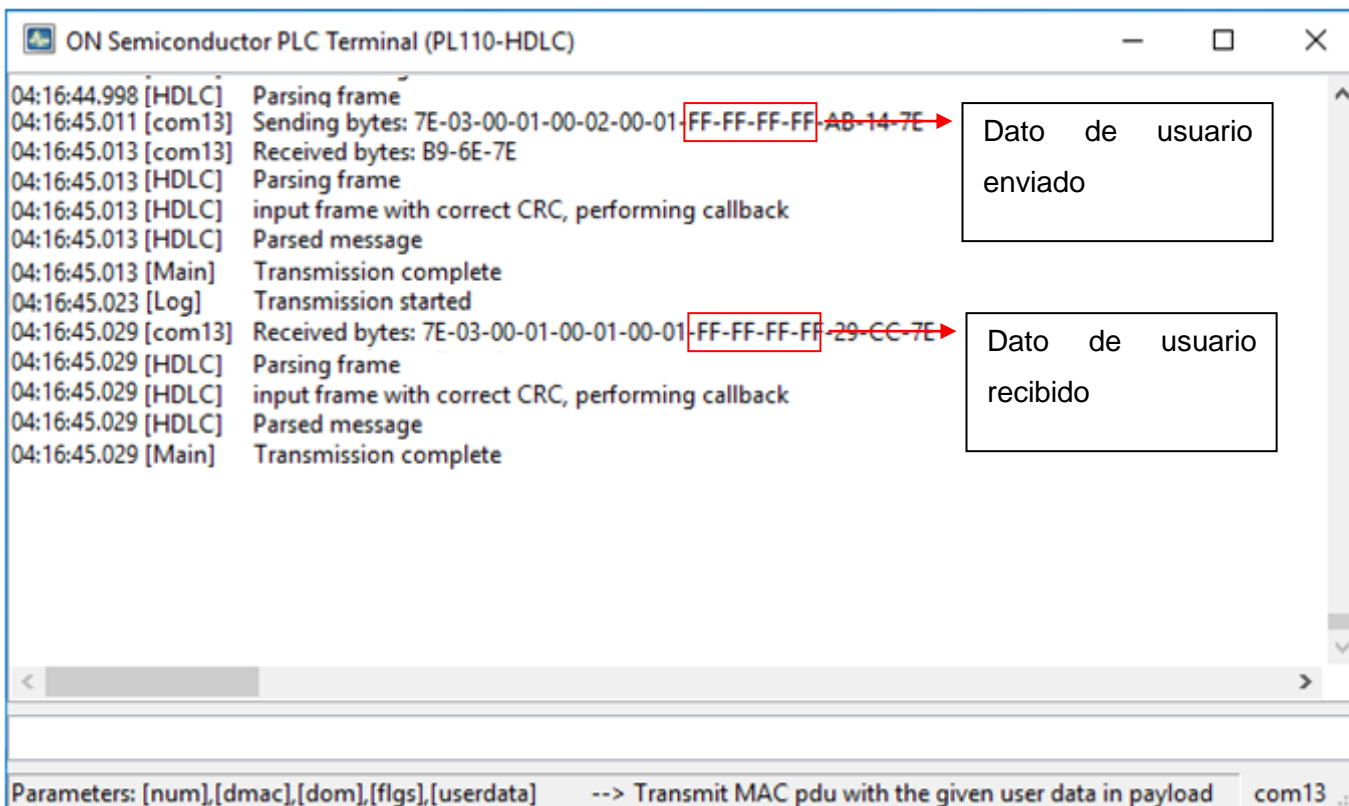


Fig. 4.4.10 Terminal PLC

La figura 4.4.10 muestra la información entregada en el terminal PLC

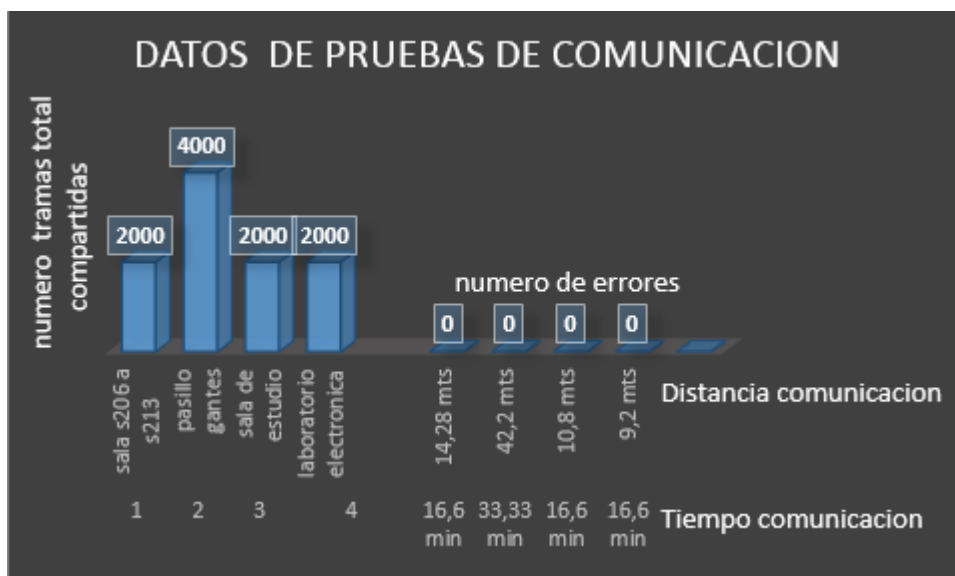


Fig. 4.4.11 Datos de pruebas de comunicación

En la figura 4.4.11 se muestra un gráfico que resume las pruebas realizadas, indicando el número de tramas total enviadas, el tiempo empleado, la distancia entre ambos puntos de comunicación, y el número de errores.

## CONCLUSIÓN

Del trabajo realizado con las placas de comunicación se concluye que es posible la comunicación por la red eléctrica con los módems seleccionados, comunicándose bajo un dominio MAC.

Si bien en sus inicios la transmisión de información por la red eléctrica no pudo ser ampliamente difundida dados los obstáculos que debía de vencer, como el ruido dentro del canal, actualmente, con las nuevas tecnologías, constituye un área de gran interés. El mercado para esta está en expansión. Servicios avanzados incluyen lecturas de medidores eléctricos, controladores programables, telemetría, y administración de la demanda y oferta de la energía suministrada. Para las empresas de suministro eléctrico, mantener una conexión PLC permanente ofrece ventajas como la de obtención de variables en tiempo real.

Para las pruebas de comunicación se buscó la mayor distancia posible que permitiera la red eléctrica del departamento del Gantes, logrando un excelente desempeño de los dispositivos de comunicación.

Como se mencionó en el capítulo 4, el análisis se fijó en las tramas enviadas correctamente y en las tramas recibidas con errores, indicadas en el terminal del PLC, para evaluar el funcionamiento de la comunicación en la distancia determinada.

Concluyendo que con estos módulos se puede lograr una comunicación fiable, y considerando el setup propuesto con arduino, es posible extender esto a aplicaciones en domótica e industriales, presentando la gran ventaja de que no necesita un cableado nuevo, si no que se toma de la red eléctrica instalada en el lugar donde, además, dependiendo del firmware y estándar a utilizar, se puede tener un esquema maestro-esclavo, con múltiples esclavos, o una red de comunicación MAC, donde se pueden fijar varios dominios y direcciones MAC.

Una desventaja presente es que como se debe tomar de la red eléctrica ya existente, esta no siempre viene diseñada para poder realizar comunicación sobre si misma por lo que no siempre es la misma red eléctrica entre dos tomas en un mismo edificio o área, si no que pueden estar tomadas de fases diferentes. En estos casos, es imposible comunicar ambos puntos con este método de comunicación.

Otra desventaja a mencionar es que la comunicación PLC no puede viajar por los transformadores existentes en la red de distribución eléctrica, ya que estos no están diseñados para trabajar a la frecuencia de comunicación. Para lograr que la información pase de un bobinado a otro, en un mismo transformador, se debe realizar un puente entre un punto y otro. Esto se debe considerar al momento de realizar aplicaciones en Smart-grid.

Como mejora para el módem utilizado, se puede mencionar que es posible desarrollar aplicaciones de bajo costo con el mismo, descartando componentes pasivos que podrían no ser necesarios para la aplicación deseada.

Se debe destacar el desafío de desarrollar más estándares para esta comunicación. Actualmente, sólo existe uno, el estándar Homeplug V1.0.1 que sólo aplica para instalaciones de domótica, pero no es extensible a otras aplicaciones.

Muchos estudios aún son necesarios para mejorar el desempeño y la confiabilidad que pueda otorgar esta comunicación.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- [1] ON semiconductor. NCN49597, Power Line Communication Modem.
- [2] ON semiconductor. NCS5651, 2 Amp PLC Line Driver.
- [3] ON semiconductor. Getting Started with Power Line Communication.
- [4] ON semiconductor. Evaluation kit for power line Communication.
- [5] ON semiconductor. ON PL110 Manual.
- [6] IEC. International Standar, S-FSK. Mayo 2001.
- [7] Joseph Yiu, 2011. ARM Cortex-M0
- [8] [www.dit.upm.es](http://www.dit.upm.es) “Comunicaciones Machine To Machine”

## **ANEXOS**

### **5.1 Comisión IEC**

La IEC (comisión electrotécnica internacional) es una organización mundial de la normalización que comprende todos los comités electrónicos nacionales (comités nacionales de la CEI). El objetivo de la IEC es promover la cooperación internacional en todas las formas relativas a la normalización en los campos eléctricos y electrónicos. Con este fin y además de otras actividades, la IEC publica normas internacionales. Su preparación es confiada a comités técnicos, cualquier comité nacional IEC interesado en el tema tratado puede participar en el trabajo preparatorio. Las organizaciones internacionales, gubernamentales y no gubernamentales sirven de enlace con la IEC que también participan en la preparación. El IEC colabora paralelamente con la Organización Internacional de Normalización (ISO), de acuerdo con las condiciones determinadas por acuerdo entre las dos organizaciones.

Un estándar de la IEC que abarca el estudio de nuestra investigación es el estándar IEC 61334-5-1 el cual ha sido preparado por el comité técnico IEC 57, un sistema de alimentación de control y comunicaciones asociadas. Tiene una revisión técnica y ahora tiene el estatus de un Estándar Internacional, la cual usaremos en nuestro tema de estudio y se profundiza más adelante.

### **5.2 Estándar IEC 61334**

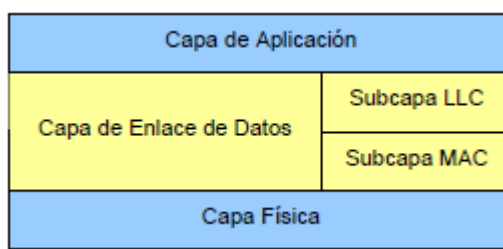
De los estándares del IEC uno de ellos se encuentra el IEC61334 el cual fue creado por la Comisión Electrotécnica Internacional para la automatización de la distribución de energía eléctrica, utilizando las redes de baja y media tensión como medio de transmisión.

El modelo de referencia (figura 1.1), descrito en esta especificación es el denominado EPA (Enhanced Protocol Architecture), el cual se encuentra compuesto por tres capas principales. La especificación define en detalle las capas físicas y de enlace de datos en detalle, así como las líneas básicas de la capa de aplicación.

De la figura se puede decir que la placa de aplicación es compatible con la especificación de la aplicación DLMS (distribución Line Message Specification), que se encuentra definido en la sección 41 de la norma IEC 61334. La asociación de usuarios DLMS

gestiona todos los aspectos oficiales de la norma incluyendo los siguientes objetivos fundamentales:

- Compatibilidad: contadores de diferentes fabricantes deben ser capaces de comunicarse unos con otros.
- Estandarización: normalizar los protocolos de comunicación con una representación activa en organizaciones de estandarización europeas e internacionales.
- Independencia: DLMS debe ser independiente del medio de comunicación utilizado.
- Pruebas de cumplimiento: gestionan el etiquetado de producto DLMS compatible para los dispositivos que pasan la evaluación de estandarización.



**Fig. 5.2.1 Modelo de referencia IEC 61334**

El estándar define una larga lista de servicios en la capa de aplicación, pero no especifica la interacción entre ellos, ni el modo que se deben usar.

Por otra parte, se tiene la capa de enlace de datos, se puede apreciar en la imagen que está compuesta por la subcapa de control de enlace lógico (LLC) y la subcapa de acceso medio (MAC) con direcciones especiales de cada una.

La especificación define cinco perfiles, incluyendo las capas físicas y MAC. Las principales características de cada perfil son las siguientes:

- IEC 61334-5-1
- IEC 61334-5-2
- IEC 61334-5-3
- IEC 61334-5-4
- IEC 61334-5-5

De las especificaciones mencionadas se profundiza en el perfil IEC 61334-5-1, en el cual se encuentra la modulación S-FSK, que usa el microcontrolador NCN49597 que se estudia, y se ahondará continuación, además de dar especificaciones de los demás perfiles mencionados.

### **5.3 IEC 61334-5-1**

Perfil utilizado en el estudio para la tesis que se encuentra en estudio, cabe destacar que utiliza la modulación S-FSK (Spread – Frequency Shift Keying), la cual viene incorporada en el microcontrolador, se proporciona información sobre de la modulación más adelante.

IEC61334-5-1 es conocida como la distribución de automatización utilizando los sistemas de portadora de distribución eléctrica, es un estándar de baja velocidad Power Line Communication por los cables de electricidad. También se conoce como propagación desplazamiento de frecuencia (S-FSK) y fue conocido anteriormente como IEC 1334 antes que se volviera a enumerar más reciente la norma IEC. En realidad, es una serie de normas que describen el entorno físico investigado en líneas de alta tensión, una capa física bien adaptada, una capa de acceso a medios de baja potencia, y una interfaz de gestión. Además, normas relacionadas con el uso de la capa física (por ejemplo, Protocolo de Internet a través de S-FSK), pero no las capas superiores.

El perfil consiste en la difusión de tramas en la red por medio de repeticiones entre un nodo y el siguiente. Tiene una arquitectura que responde a Maestro/Esclavo. Por otra parte, los datos son transmitidos en el cruce por cero del voltaje de la tensión de la red, por tanto, se debe de hacer una detección de cruce por cero de la señal senoidal.

Esta parte de la norma IEC 61334 describe los requisitos nombrados de S-FSK, en relación con los servicios relacionados por la entidad de capa física y subcapa MAC. La subcapa MAC se describe en el estándar del control de enlace lógico, descrita en la norma IEC 61334-4-32, dictada en el año 1996, la cual contempla la automatización de la distribución utilizando sistemas con portadora de distribución de línea.

Las tres partes, de modulación, la capa física y la subcapa MAC, están acoplados entre sí por lo que se puede lograr una óptima relación costo-rendimiento. Teniendo en cuenta el desarrollo técnico en este campo, los perfiles definen especificaciones técnicas con la intención de transformarse en normas que son exitosas en la práctica.

El propósito que tiene S-FSK en la norma es que es una técnica de modulación y demodulación, que combina alguna de las ventajas de un sistema de espectro de ensanchado clásico, ejemplo, la inmunidad frente a interferencias de banda estrecha, además de las ventajas de un sistema FSK clásico.

Para la capa física cubre los servicios requeridos de la capa física DCP en la interfaz lógica con la subcapa MAC. También define los métodos de transmisión que se utilizan para proporcionar el flujo de información a través del canal físico (la red de distribución de energía).

### **5.3.1 Método de transmisión**

La distribución para la transmisión en la línea será conectando los sistemas de cableado de distribución de energía de la línea eléctrica que debe tener las siguientes características:

- AC monofásica o trifásica
- 50 Hz o 60 Hz
- 230 Vrms (190 Vrms min, 250 Vrms máx)

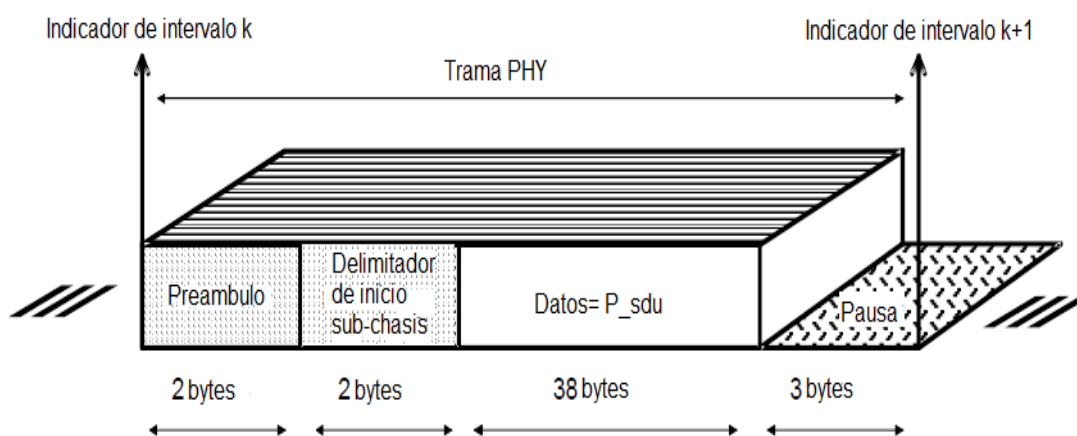
### **5.3.2 Codificación: temporización de bits**

Para la frecuencia de 50 Hz, la duración máxima de un conjunto de datos (momento de la transmisión) es 3.33 ms. El bit con la duración corresponde a una velocidad de transmisión mínima de 300 bits/s esto a 50 Hz y 360 bits/s a 60 Hz.

A la velocidad de transmisión mínima (300 bits/s o 360 bits/s), la duración de tres bits de datos corresponde al intervalo de tiempo entre dos pasos sucesivos por cero de una de las tres fases de la red eléctrica. Cuando este alimentado y sincronizado por la red, los bits de datos se colocan en el tiempo de manera que al inicio de cada tercer bit corresponde con el cruce por cero de una fase. Esto significa que la sincronización puede lograrse dividiendo el intervalo entre dos cruces por cero de una de las tres fases por tres. Otras velocidades de transmisión que son múltiplos de 300 bits/s para 50 Hz de la señal (600 bits/s, 900 bits/s, 1200 bits/s, etc) son posibles.

### 5.3.4 Temporización de trama

Los PHY\_frames (que consta de un preámbulo, un delimitador de inicio subtrama, un MAC-subtrama, y una pausa) se transmiten durante intervalos de tiempo predefinidos, ver figura 5.3.1, esto significa que la PHY\_frames siempre comenzara en múltiplos enteros de la duración básica de intervalo de tiempo. Estos ahora son llamados indicadores de ranura. Después se logra la sincronización de ranura, la capa física de cada unidad que va a realizar un seguimiento de los indicadores de ranura de forma independiente por medio de su reloj interno.



**Fig. 5.3.1 Intervalo de tiempo y la estructura de trama física**

### 5.3.5 Temporización de ranura

Para la estación remota (servidor), el sistema de ancho de sincronización de los indicadores de ranura es logrado por medio de cualquier subtrama recibida utilizando el preámbulo y el delimitador de inicio.

### 5.3.6 Preámbulo y empezar delimitador subtrama

El preámbulo es un campo de 16 bits igual a: AAAA(hexadecimal).

El delimitador de inicio de subtrama es un campo de 16 bits igual a: 54C7(hex)

El preámbulo y el delimitador de inicio subtrama forman un conjunto de cuatro bytes que se utiliza para los siguientes fines:

- La adaptación del control automático de ganancia (AGC)
- La medición de la calidad y el cálculo de umbral (determinación del método de la demodulación). IEC 61334-5-2

Utiliza modulación FSK (Sperad – Frequency Shift Keying). La cual es una modulación que le antecede a la S-FSK. La sincronización entre los dispositivos se consigue a través del origen que indican los pasos por cero. La subcapa MAC incorpora un mecanismo de repetición con el fin de resolver los problemas de transmisión debido a la atenuación de la señal. También hace uso de una tabla de enrutamiento, y la arquitectura al igual que la IEC 61334-5-1 es Maestro/Esclavo.

#### **5.4 IEC 61334-5-3**

Hace uso de la modulación SS-AW (Spread Spectrum Adaptive Wideband). La subcapa MAC define dos modos de comunicación basados en el uso de un token, que define que dispositivo tiene el control de la red en un momento dado.

#### **5.5 IEC 61334-5-4**

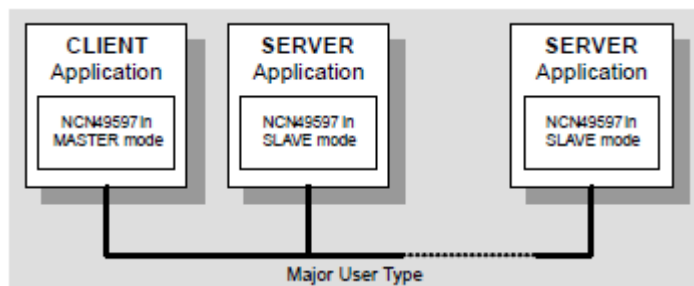
Utiliza la modulación MCM (Multicarrier Modulation). La red en este caso es dividida en dominios, con un maestro y uno o más esclavos en cada uno de ellos. Usa enrutamiento en origen y no especifica un tamaño de trama único, sino que el tamaño depende de los parámetros de la capa física.

#### **5.6 IEC 61334-5-5**

Emplea modulación SS-FFH (Spread Spectrum Fast Frequency Doping). Utiliza el método de inundación y la fragmentación de la red de dominios. La arquitectura también responde Maestro/Esclavo.

#### **5.7 Topología PLC**

Una topología típica en la cual se utiliza la comunicación PLC bajo el estándar IEC61334-5-1, la cual se pensaba utilizar originalmente es la “Red tres nodos IEC 61334-5-1”. Esta aplicación típica que posee es a nivel de sistema que se muestra en la figura 1.3. En esta aplicación tiene un módem NCN49597 en combinación con el firmware IEC 61334-5-1, los cuales se conectan utilizando equipos de comunicación por la línea de potencia.



**Fig. 5.7.1 Topología de tres nodos**

En la figura se puede apreciar que en la aplicación cliente se encuentra el módem en estado de maestro, y las aplicaciones servidor están en estado esclavo, las cuales están en este caso en red denominada tres nodos.

### 5.8 Código cargado a arduino

```
#include <SoftwareSerial.h>

//define something
#define rx 5
#define tx 6
//.....

//set up new serial port
SoftwareSerial mySerial = SoftwareSerial (rx, tx);
//.....

bool state=0;
//Command to set 1000=10
//7E-03-00-01-00-01-00-01-00-00-05-21-50-9E-7E
char s7E=0x7E;
char s00=0x00;
char s01=0x01;
char s03=0x03;
char s05=0x05;
char s21=0x21;
char s50=0x50;
char s9E=0x9E;
```

```
//.....
```

```
//Array to receive
```

```
int incomingByte[14];
```

```
//.....
```

```
int a=0;
```

```
void setup() {
```

```
  mySerial.begin (115200);
```

```
  pinMode (13, OUTPUT);
```

```
  pinMode (12, OUTPUT);
```

```
  delay(1000);
```

```
  while (a<3)
```

```
  {
```

```
    mySerial.print(s7E);
```

```
    mySerial.print(s03);
```

```
    mySerial.print(s00);
```

```
    mySerial.print(s01);
```

```
    mySerial.print(s00);
```

```
    mySerial.print(s01);
```

```
    mySerial.print(s00);
```

```
    mySerial.print(s01);
```

```
    mySerial.print(s00);
```

```
    mySerial.print(s00);
```

```
    mySerial.print(s05);
```

```
    mySerial.print(s21);
```

```
    mySerial.print(s50);
```

```
    mySerial.print(s9E);
```

```
    mySerial.print(s7E);
```

```
    digitalWrite(13, HIGH);
```

```
    delay (10);
```

```
    digitalWrite(13, LOW);
```

```
    delay(10);
```

```
    a++;
```

```

    }
}
void loop() {
  if(mySerial.available()>0)
  {
    for (int i=0; i<15; i++)
    {
      incomingByte[i] = mySerial.read();
    }
    if (incomingByte [11] == 33)
    {
      state= !state;
      digitalWrite (12, state);
      mySerial.print(s7E);
      mySerial.print(s03);
      mySerial.print(s00);
      mySerial.print(s01);
      mySerial.print(s00);
      mySerial.print(s01);
      mySerial.print(s00);
      mySerial.print(s01);
      mySerial.print(s00);
      mySerial.print(s01);
      mySerial.print(s00);
      mySerial.print(s00);
      mySerial.print(s05);
      mySerial.print(s21);
      mySerial.print(s50);
      mySerial.print(s9E);
      mySerial.print(s7E);
      digitalWrite(13, HIGH);
      delay (10);
      digitalWrite(13, LOW);
    }
  }
}

```

## 5.9 Esquemáticos del módem

### 5.9.1 Placa madre

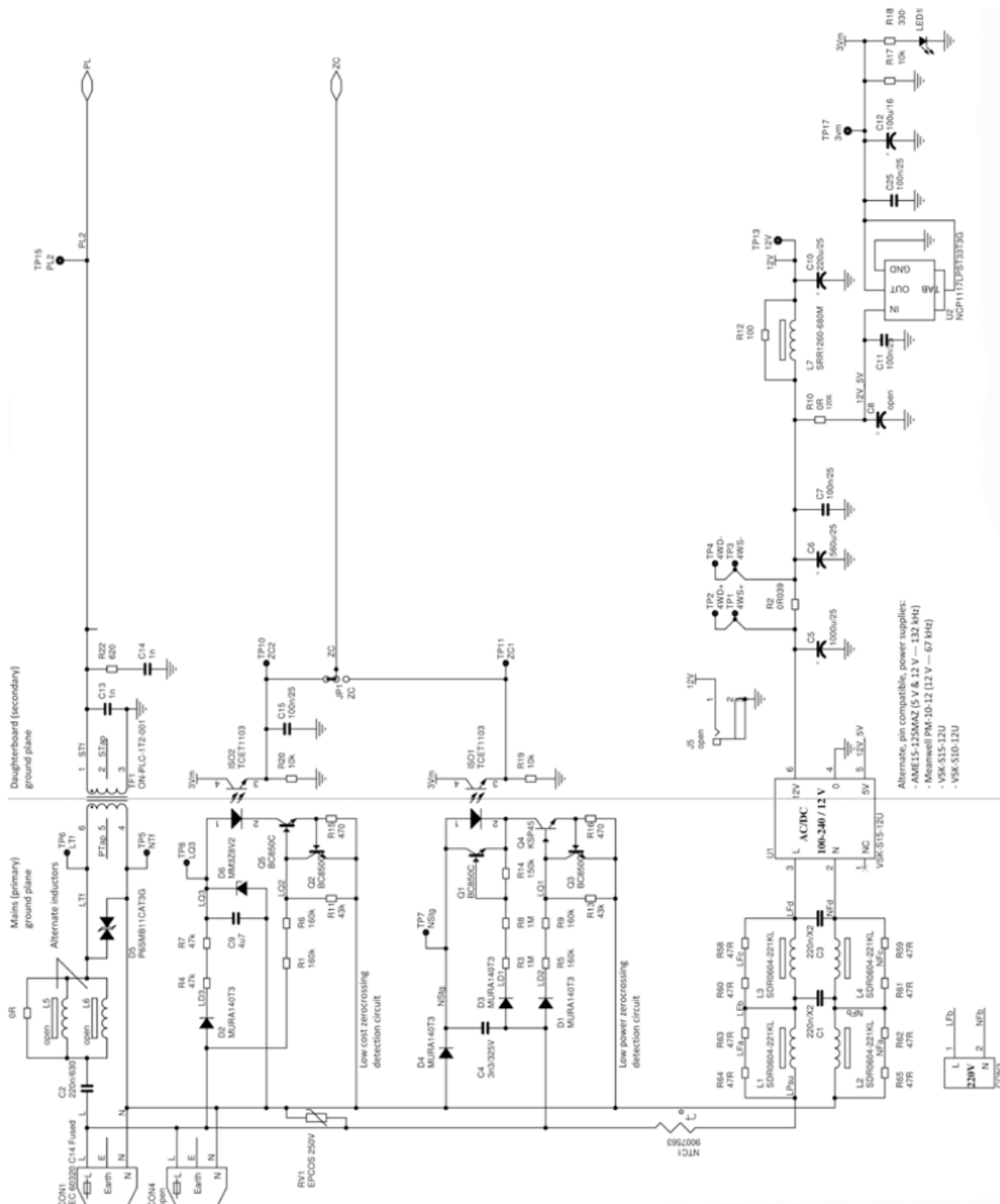


Fig. 5.9.1 Esquemático Placa Madre, 1



### 5.9.2 Placa Hermana

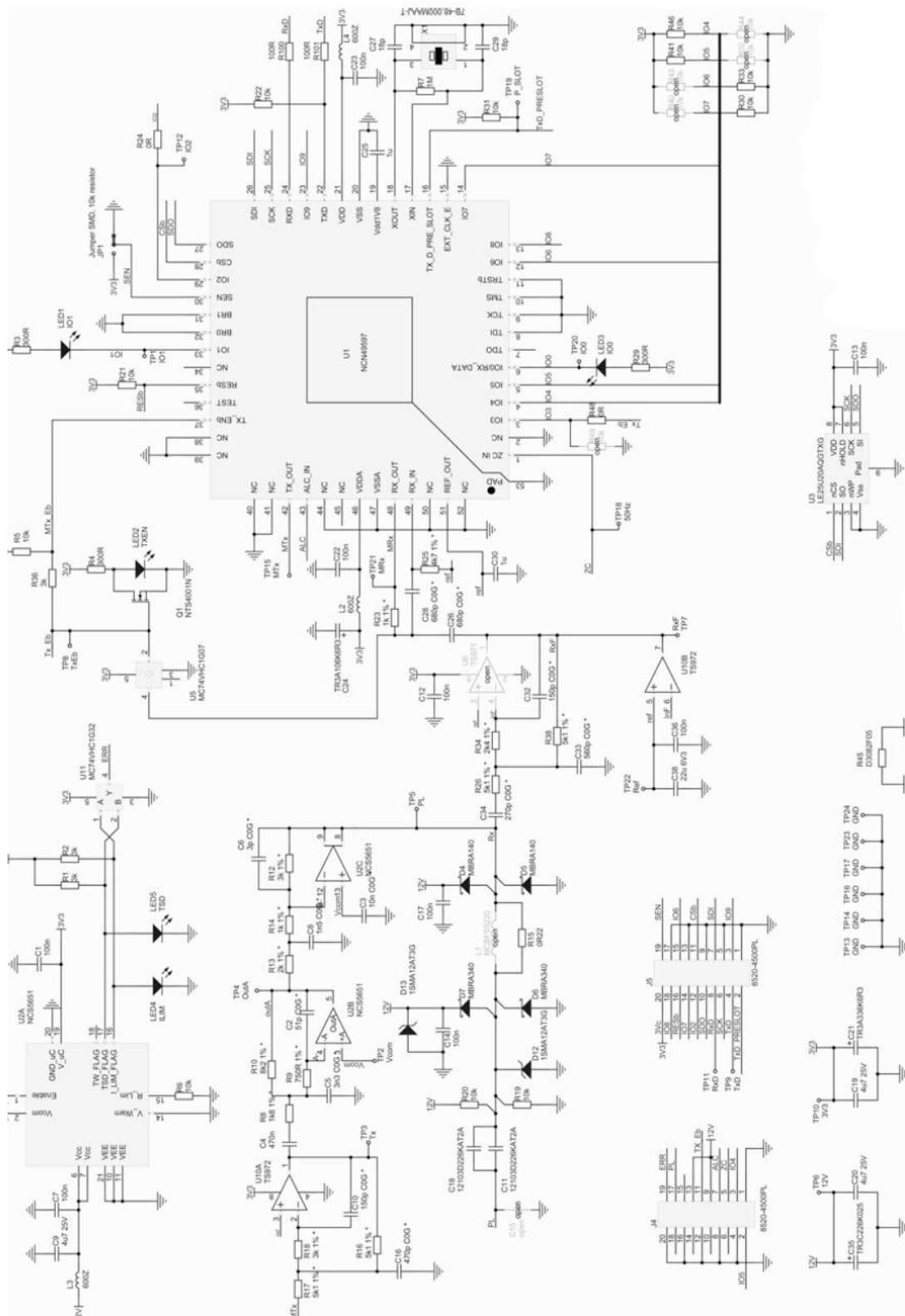


Fig. 5.9.3 Esquemático Placa Hermana