

**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ACATLÁN**

**SISTEMAS DE COMUNICACIÓN POR MEDIO DE LÍNEAS
DE ENERGÍA (P. L. C.)**

T E S I S I N A

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADA EN MATEMÁTICAS APLICADAS Y

C O M P U T A C I Ó N

P R E S E N T A :

AMANDA VIRIDIANA PINEDA CABALLERO

ASESOR: MTRO. VICTOR JOSÉ PALENCIA GÓMEZ

ESTADO DE MÉXICO

ABRIL 2008



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

El presente trabajo lo dedico con infinito respeto y cariño a:

Dios.

Por el ilimitado amor que siempre me has dado, por la vida, por el día a día, por nunca dejarme, por siempre guiarme, por ponerme donde estoy, por todos y cada uno de los momentos de mi vida. Gracias por todo lo que me has dado y me sigues dando, sin pedirme nada a cambio. Gracias por todo lo que tengo, aun sin merecerlo.

A mi madre, Adela Caballero Durán.

Gracias por ser mi guía, mi amiga, mi ejemplo, mi aliento, mi inspiración. Eres lo más grande que tengo en este mundo; gracias porque este también es el resultado de tu esfuerzo, dedicación, constancia y paciencia. Gracias por todo tu amor, comprensión, consejos, apoyo y silencios. Gracias por tu entrega, por estar a mi lado, pase lo que pase. Eres la mujer más admirable y respetable. Te amo madre!

A mi padre, Fernando Pineda Moreno.

Por proporcionarme todos los elementos necesarios para mi educación. Por hacerme más fuerte. Gracias por tu enorme esfuerzo para formar a excelentes profesionistas

A mi hermana, Adela Marina Pineda Caballero.

Por preocuparte y ocuparte en todo momento. Por ser y estar. Gracias por creer y siempre recordarme creer en mí, por tus palabras de aliento, por enseñarme que los límites los pongo yo y que puedo ser tan grande como yo quiera ser. Por predicar con el ejemplo, por ser la primera en llegar a los objetivos nuevos y dejar marcada la dirección, pero dejando en claro que hay muchos caminos para llegar a ellos. Te admiro y te amo infinitamente.

A mi hermana, Areli Rocío Pineda Caballero.

Eres mi ejemplo de excelencia. Gracias por tu inagotable apoyo, por compartir tu conocimiento, por estar al pendiente de mi crecimiento profesional y personal. Gracias por enseñarme con tu ejemplo, que los grandes retos son para las grandes personas. Gracias por enseñarme que puedo y que brillo con luz propia. Eres una mujer tenaz y hermosa. Te amo!

A mi mami, Carmen Durán y mi tío Javier Caballero.

Gracias por su amor, cariño y apoyo. Gracias por la garra con la que han vivido y han enseñado a vivir. Gracias por ser tan incondicionales.

A mi cuñado Homero Polo.

Por amar y proteger a mi hermana, por caminar junto con ella. Por preocuparte y estar al pendiente. Por tus palabras, que me ayudaron a aclarar mi mente. Gracias!

A mi sobrino Emiliano.

Porque sin aun tenerte en mis brazos, ya te amo. Porque sin siquiera estar, decir o hacer algo, te has vuelto un motivo mas para vivir y seguir adelante.

A Leonardo Guevara.

Por tu apoyo incondicional en todo momento. Por lo bellos momentos. Por tu cariño. Por ser una pieza fundamental en mi vida. Te quiero. Gracias por todo.

A Andrés Pérez, Javier Téllez y Martín Pineda.

Su apoyo fue fundamental para lograr esta meta. Gracias por preocuparse en el crecimiento de la gente. Son unos excelentes lideres y magnificos seres humanos. Gracias!

A mis amigos y compañeros.

Que siempre aligeraron el camino a recorrer compartiendo conocimiento, pero sobre todo momentos. Gracias por crecer juntos.

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

Por dejarme cumplir uno de mis más grandes y anhelados sueños; formar parte de la Máxima Casa de Estudios, enseñándome que POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPIRITU.

A la Facultad de Estudios Superiores Acatlán.

Por arraigar en mí la pasión de ser universitaria; por proporcionarme las herramientas y elementos necesarios para ser una digna representante de este recinto.

A mi asesor, Mtro. Víctor José Palencia Gómez.

Por ser puntual, conciso, directo. Por canalizar la investigación por el mejor camino, por su enseñanza y aportación, por su honestidad, por ser un orgullo y un icono de la carrera y de la Facultad. Gracias por guiarme en esta etapa tan importante y representativa.

Al respetable jurado:

Mtro. Víctor José Palencia Gómez.
Fis. Mat. Jorge Luis Suárez Madariaga.
Mtra. María del Carmen Villar Patiño.
Lic. Teresa Carrillo Ramírez.
Lic. Jaime Vergara Prado.

Por el tiempo dedicado a este trabajo, por sus aportaciones que enriquecieron al mismo.

A todos y cada uno de mis profesores.

Por la noble, pero importante labor que llevan a cabo y por dejar huella.

ÍNDICE

| | PAGINA |
|---|---------------|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| I. DESCRIPCIÓN DE LOS ORÍGENES DEL PLC | 3 |
| I.1 Historia breve de las comunicaciones de línea de energía. | 7 |
| I. 2 Aprovechamiento de redes eléctricas para propósitos de comunicación (PLC). | 10 |
| II. COMUNICACIONES POWER-LINE. | 11 |
| II.1 Comunicaciones Digitales. | 13 |
| II.2 La Red Eléctrica como canal de comunicaciones. | 17 |
| II.3 Comunicación. Características del canal de la rejilla de bajo voltaje. | 24 |
| II.4 La puesta en práctica en Påtorp (Suecia). | 26 |
| III. LA COMUNICACIÓN TÉCNICA. | 29 |
| III.1 Funcionamiento total estimado de los canales de comunicaciones. | 29 |
| III.2 Perfil de la Carga. | 34 |
| III.3 El efecto de las cargas en la Línea de Energía. | 35 |
| IV. MEDIDAS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA REJILLA DE BAJA TENSIÓN. | 37 |
| IV.1 Disposición de Medida. | 37 |
| IV.2 Técnicas de la Medida. | 38 |
| IV.3 Teoría de la estimación del espectro de energía. | 40 |
| IV.3.1 Medidas al aire libre en la banda de frecuencia de 1-16 megaciclos. | 41 |
| IV.3.2 Medidas al aire libre en la banda de frecuencia de 20-450 kilociclos. | 45 |
| V. ESTRATEGIAS DEL RECEPTOR PARA LA RED DE LÍNEA DE ENERGÍA DE COMUNICACIONES. | 50 |
| V.1 Elevaciones y el modelo de sistema de comunicación | 50 |
| V.2 Un método de la modulación para el canal PLC. | 54 |
| V.3 La entrada en México. | 55 |
| CONCLUSIÓN | 58 |
| GLOSARIO | 60 |
| BIBLIOGRAFÍA | 62 |

INTRODUCCIÓN

Actualmente las telecomunicaciones son básicas en nuestro entorno; es difícil imaginarnos sin teléfonos celulares, sin teléfonos locales y, más aún, sin Internet. En estos días, es complicado no contar con Internet; es indispensable tanto en los hogares como en las grandes empresas, pues es a través de este medio que nos podemos comunicar desde el punto donde estamos hasta el otro lado del mundo, así mismo podemos transmitir información importante que se necesita manejar al mismo tiempo en dos puntos diferentes aunque algunas veces la distancia entre ellos sea demasiado grande para poder trasladarla físicamente de un lado a otro. Internet es una herramienta rápida, fácil, confiable, efectiva y económica.

Así mismo, la velocidad es un factor importante en este medio ya que la información se debe actualizar prácticamente a cada segundo, pues la falta de información podría generar pérdidas gigantescas de utilidades. Dependiendo del dispositivo con el que contemos para tener una conexión a Internet, tendremos una mejor calidad para la llegada de información.

Actualmente contamos con varias opciones para una conexión a Internet: MODEM, el cual llega a alcanzar velocidades de 56 kbps, que puede bajar un archivo de 50 Mb en 24 minutos; el **ADSL** que ofrece 1 Mbps, con un tiempo de espera de 12 minutos para obtener un archivo de 50 Mb; Cableado estructurado, que puede ir desde 10 Mbps y alcanzar una velocidad de hasta 100 Mbps, lo que significa que puede descargar un archivo de 50Mb en 5 minutos como mínimo. Por último, y el mas reciente, es el equipo ethernet Power Line Communication, el cual alcanza velocidades de hasta 200 Mbps, y en cual el tiempo de descarga de un archivo de 50 MB es de 24 segundos. Es evidente que tenemos varias posibilidades de conexión a Internet.

El presente trabajo tiene la finalidad de dar a conocer la Comunicación vía Líneas de Energía (Power-Line Communication o P. L. C. por sus siglas en inglés).

En los capítulos en que se ha dividido este trabajo, podremos encontrar donde nació, como funciona, sus ventajas y limitaciones, y un ejemplo claro de lo que sucede en la ciudad de Pátorp, Suecia; en la cual se implementó esta tecnología desde hace años; y que nos servirá para explicar el funcionamiento de la misma.

I. DESCRIPCIÓN DE LOS ORÍGENES DEL PLC

La transmisión de información a través de las líneas eléctricas es una tecnología que se viene investigando desde hace varias décadas, a partir de la cual, y operando equipos especializados, se pueden transmitir señales de voz, datos, telefonía, video e Internet de banda ancha.

Las comunicaciones de línea de energía (PLC) es la transmisión de datos a través de la red eléctrica y actualmente puede llegar a ser un duro competidor para el resto de las alternativas.

Las comunicaciones de línea de energía (PLC) han estado alrededor nuestro desde los años 50 del siglo pasado pero nunca se pensaron seriamente como medio de comunicación debido a su baja velocidad, baja funcionalidad y alto costo de desarrollo. Sin embargo, recientemente, las nuevas técnicas de la modulación apoyadas por avances tecnológicos han permitido que las comunicaciones de línea de energía, se conviertan en, medios de comunicación realistas y prácticos.

La comunicación de líneas de energía está preparada para el propósito de la comunicación entre nodos. La línea de energía tiene una muy extensa infraestructura en casi cada edificio, ya que la mayoría cuenta con la red eléctrica para proveer energía como primer fin; debido a este hecho el uso de esta red para la transmisión de datos ha ganado mucha atención ya que la línea de energía fue ideada para la transmisión de la energía en 50-60 **hertzios**[♦], y arriba de los 400 **hertzios** el uso de este medio para la transmisión de datos presenta algunos problemas técnicos desafiantes. Además de una gran **atenuación**[♦], la línea de energía es uno de los ambientes eléctricamente más contaminados por el ruido generado, lo que hace la comunicación extremadamente difícil pues las

[♦] Consultar Glosario

restricciones impuestas ante el uso de varias bandas de frecuencia en el espectro de la línea de energía limitan los datos logrados de la comunicación; es decir, el éxito de comunicación es limitada.

Las líneas de energía (PLC) fuerza conectan a la estación de generación de energía con una variedad de clientes dispersos sobre una región amplia. La transmisión de energía se hace usando varios niveles de voltaje sobre las líneas de fuerza. Las características de la red eléctrica y el número de cruces desempeñan un papel importante en la determinación de la clase de tecnología de comunicación que necesite ser utilizada. De acuerdo con los niveles de voltaje en los cuales transmiten las líneas de energía, éstas se pueden clasificar como sigue:

1. Líneas de Alta Tensión: Éstas conectan estaciones de producción eléctrica con las estaciones de distribución. Los niveles de voltaje en estas líneas están generalmente en el orden de centenares de **kilovoltios**♦ y las líneas recorren distancias arriba de los diez kilómetros.



Figura 1-1. Ejemplo de Líneas de Alta Tensión.

2. Líneas de Media Tensión: Éstas conectan las estaciones de distribución con los transformadores montados en los postes. Los niveles de voltaje están en el rango de algunos **kilovoltios** y se recorren distancias por encima de unos cuantos kilómetros.

♦ Consultar Glosario



Figura 1-2. Ejemplo de Líneas de Media Tensión.

3. Líneas de Baja Tensión: Éstas conectan los transformadores con las casas individuales. Los niveles de voltaje en estas líneas están en el rango de algunos cientos de **voltios** y funcionan en distancias de, cuando mucho, cientos de metros.



Figura 1-3. Ejemplo de Líneas de Baja Tensión.

Anteriormente, el uso de la línea de comunicaciones de energía estaba principalmente destinado a servir como fuente de alimentación de los aparatos electrodomésticos y de las maquinarias de las grandes industrias. Algunos veían el cableado de la distribución de energía como un medio "natural" para las necesidades de comunicación puesto que son el medio por el que "las estaciones están conectadas entre si".

Recientemente, la comunicación de datos sobre las líneas de baja tensión ha ganado mucha atención pues ésta, es un valioso medio para el crecimiento explosivo del Internet, junto con los avances en el proceso de la señal digital, la codificación de corrección de error y el hardware electrónico. Éstos permitieron, que en el medio de transmisión se lograran rangos de señal muy altos en las líneas de baja energía. Los dispositivos digitales que usan las líneas de energía de baja tensión se pueden clasificar basándose en el ancho de banda que utilizan. Éstos son:

1. Dispositivos digitales de poca banda ancha.

La banda ancha exige velocidades mayores a 128Kbps (los módem de los PC actualmente soportan 56Kbps, a manera de comparación), y en ambos sentidos; es decir, del PC a la Internet (subida), y de la Internet al PC (bajada). Algunos proveedores tratan de hacer pasar velocidades de 64Kbps como banda ancha, (por ejemplo, conexiones RDSI o ISDN en un canal), aprovechando la primera característica de la conexión permanente que puede simular este tipo de servicios. Los principales ejemplos de estos dispositivos son:

- **Inalámbrica.** Generalmente proveen velocidades menores, en el rango de varios cientos de Kpbs.
- **Satelital.** La velocidad del flujo de datos descendente o ascendente para la banda ancha por satélite depende de varios factores, incluyendo el proveedor y el paquete de servicio que se compra, la línea visual del consumidor con el satélite y el clima. Típicamente un consumidor puede esperar recibir (bajar datos) a una velocidad de cerca de 500 Kbps y enviar (subir datos) a una velocidad de aproximadamente 80 Kbps. Estas velocidades pueden ser menores que las del **DSL**♦ y cable módem, pero la velocidad para bajar datos es casi 10 veces más rápida que la velocidad que se obtiene con un acceso de Internet por red telefónica básica. Los servicios pueden interrumpirse, durante condiciones climáticas extremas.

2. Dispositivos digitales de gran banda ancha.

El acceso a la banda ancha o Internet de alta velocidad proporcionada por los dispositivos de gran banda ancha, permite a los usuarios tener acceso a Internet y los servicios que ofrece a velocidades significativamente más altas que las que obtiene con los servicios de Internet por dispositivos de poca banda ancha.

- **Cable Módem.** La mayoría de los cables módem son dispositivos externos que tienen dos conexiones, una a la salida del cable en la pared y la otra a una computadora. Proveen velocidades de transmisión de 1.5 Mbps o más.
- **DSL.** Provee velocidades de transmisión que van desde algunos cientos de Kpbs hasta millones de bits por segundo (Mbps). La disponibilidad y

♦ Consultar Glosario

velocidad de un servicio **DSL** puede depender de la distancia de una casa o negocio a las instalaciones más cercanas de la compañía de teléfonos.

- **Fibra óptica.** La fibra transmite los datos a velocidades que exceden las del actual **DSL** o cable módem, típicamente por decenas o aun cientos de Mbps.
- **Banda ancha por líneas eléctricas (PLC).** Es el envío de la banda ancha por la red de distribución de líneas eléctricas de bajo y medio voltaje. Las velocidades de PLC son comparables con las del **DSL** o cable módem. PLC puede proveerse a las casas usando las conexiones eléctricas y salidas existentes de las casas.

El principal proveedor de los servicios de Cable Módem y D. S. L. son las compañías de telefonía. La fibra óptica es un servicio ofertado por compañías del sector privado dedicadas al giro de las telecomunicaciones. Mientras que PLC es un servicio que puede ofrecer las proveedoras de energía.

I.1 Historia breve de las comunicaciones de línea de energía.

La primera técnica para hacer uso de la línea de energía para los mensajes del control fue el método del control ondulatorio, que surgió en los años 50. Éste se caracteriza por el uso de las frecuencias bajas (100 - 900Hz) que dan un **índice binario**♦ bajo y una demanda en energía muy alta del transmisor, a menudo en el rango de los 10kW. El sistema proporcionó la tecnología de la comunicación unidireccional, y entre los usos proporcionados estaban la administración de luces de calle y control de la carga.

En los años 80, la mayor parte de los experimentos en frecuencias más altas fueron realizados para analizar las características de la rejilla eléctrica como un medio para la transferencia de datos. Fueron probadas frecuencias en la gama de 5 - 500kHz, en las cuales los niveles de la interferencia en la señal eran importantes para las medidas, así como la **atenuación**♦ de la señal por la rejilla.

♦ Consultar Glosario

♦ Consultar Glosario

Estas pruebas fueron hechas en Europa y en Estados Unidos por Control y Adquisición de Datos de Supervisión, (Scanda por sus siglas en inglés). La tecnología necesaria para realizar estos estudios fue desarrollada en esos tiempos.

La comunicación bi-direccional fue desarrollada en los últimos años de esa misma década y principios de los años 90, y las diferencias principales entre estos sistemas y los sistemas modernos de hoy son que ahora están siendo utilizadas frecuencias mucho más altas y se tiene una reducción substancial de los niveles de la señal en la red de rejilla de la energía. A partir de un experimento, en 1997, en una escuela de las compañías de telecomunicaciones en Manchester (Reino Unido), acerca de su utilidad y de la tecnología, en Europa se continuó experimentando con una transferencia de datos más alta del ancho de banda a través de las rejillas eléctricas. Los avances, en los Estados Unidos, en tecnología del PLC ahora permiten velocidades muy altas de las comunicaciones de banda ancha y los medios de baja tensión, que rinden oportunidades extraordinarias del mercado.

El flujo de la comunicación de hoy es muy alto; muchas aplicaciones están funcionando en alta velocidad y a menudo se prefiere una conexión fija. En México, si la infraestructura de energía pudiera proveer la comunicación sobre la línea de energía para los usuarios, podría darse una enorme brecha en materia de comunicaciones: cada casa estaría conectada en cualquier momento y los servicios serían proporcionados en el tiempo real. Usar la línea de energía como un medio de comunicación podría ser también una manera rentable, comparada a otros sistemas, porque utilizaría una infraestructura existente: los cables están ya instalados en cada casa conectada con la red eléctrica.

El mercado irregular ha forzado a las compañías proveedoras de servicios de energía para explorar nuevos mercados, para encontrar las nuevas oportunidades de negocio, lo que ha aumentado la investigación en comunicaciones sobre las líneas de energía en décadas pasadas. La investigación se ha centrado

inicialmente en el abastecimiento de los servicios relacionados con la distribución de energía, tales como control de la carga, control de la tarifa y mando a distancia. Estos servicios de valor añadido abrirían los nuevos mercados para las compañías de servicios de energía y por lo tanto para aumentar el beneficio. Las demandas moderadas de estos usos hacen más fácil obtener la comunicación confiable. En primer lugar, el **índice binario** o índice de bits de datos que se transmite por segundo, de la información es bajo; en segundo lugar, no requieren funcionamiento en tiempo real.

En los años recientes el uso del Internet ha aumentado considerablemente. Si fuera posible proveer esta clase de comunicación sobre las líneas de energía, las compañías de servicios de energía podrían también convertirse en abastecedoras de la comunicación, un mercado cada vez más grande. Por otra parte, para proporcionar usos relacionados, las comunicaciones de la red requieren índices binarios muy altos y en algunos casos son necesarias las respuestas en tiempo real (por ejemplo el vídeo y la TV). Esto complica el diseño de un sistema de comunicación, pero ha sido el foco de interés de muchos investigadores en años pasados. Los sistemas bajo ensayo que existen hoy demandan un **índice binario** de 1 Mb/s, pero los sistemas comerciales disponibles, utilizan los índices binarios bajos, cerca de 10-100 kb/s, y proporcionan servicios poco exigentes tales como lectura de metro, la cual se refiere a la recolección de datos del consumo de energía.

Las líneas de energía fueron diseñadas inicialmente para distribuir energía de una manera eficiente, por lo tanto hay un proceso de adaptación para la comunicación y los métodos avanzados son necesarios para ésta. La investigación de hoy se centra principalmente en el aumento del **índice binario** para apoyar usos de alta velocidad de la red.

I.2 Aprovechamiento de redes eléctricas para propósitos de comunicación (PLC).

En México, la cobertura actual de la red eléctrica es del 96%. Por ello el aprovechamiento de redes eléctricas para propósitos de comunicación (Power Line Communications, o PLC) es una alternativa competitiva en el país que permitiría vincular al usuario final ya sea con fibra óptica, microondas o enlaces satelitales.

Entre las grandes ventajas de esta tecnología puede mencionarse el hecho de que no se necesitarían instalaciones adicionales de cableado, se transmitiría la información con energía eléctrica; así un mayor número de usuarios tendría acceso a ellas. Sin embargo, entre las desventajas puede destacarse que es un medio de transmisión ruidoso, además de tener un modelo complejo; es ahí donde se está investigando actualmente para hacerla una opción viable y confiable. Uno de los investigadores principales en México es la empresa ST Technologies.

II. COMUNICACIONES POWER-LINE.

La red de energía eléctrica (power-line) es una infraestructura que cubre la mayoría de las partes de las áreas habitadas. La energía es generada

normalmente por una central eléctrica, y después transportada sobre cables de alto voltaje (400kV) hacia una subestación de medio-voltaje, en la cual se transforma el voltaje a 10kV y se distribuye la energía a una gran cantidad de rejillas de baja tensión.

Cada rejilla de baja tensión tiene una subestación, que transforma el voltaje en 400 V y lo entrega a los vecindarios conectados, por medio de las líneas de baja tensión. Varias líneas de baja tensión están conectadas con la subestación. Cada una de ellas consiste en cuatro alambres: tres fases y un hilo neutro. Se juntan a las líneas en las cajas de luz, que se utilizan para asociar las casas a la rejilla. La figura 2.1 muestra un ejemplo de este tipo de red.

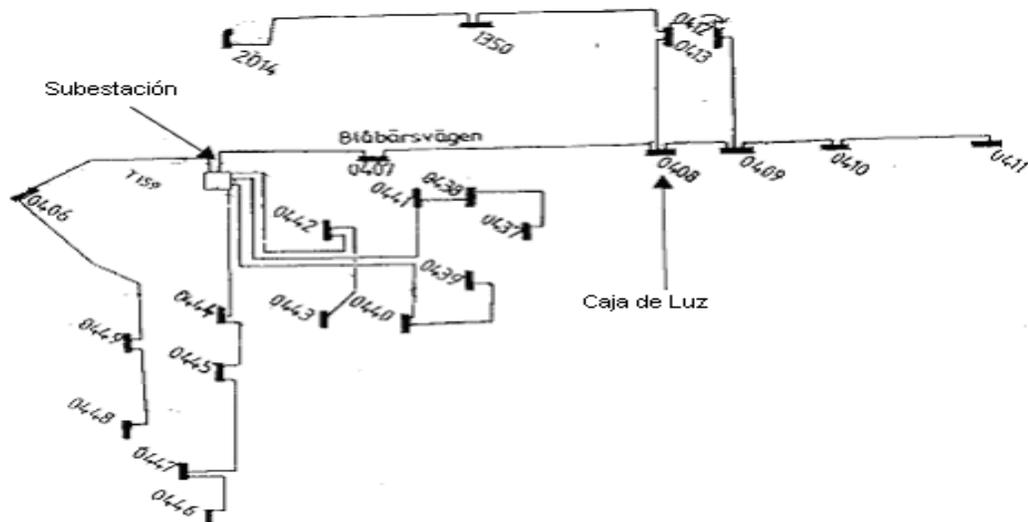


Figura 2-1 Un ejemplo de rejillas de bajo voltaje.

Actualmente, muchos sistemas utilizan hoy una topología con un nodo central (la subestación) que se comunica con los clientes (las casas). Toda la comunicación se da entre la subestación y las casas, pero no hay comunicación entre las casas. Como hay una conexión física entre cada dos casas también sería posible apoyar esta clase de comunicación. Como alternativa, esta comunicación se podría encaminar a través de la subestación.

La configuración con un nodo central y un sistema de clientes se puede comparar con los sistemas para la telefonía móvil, GSM. En el GSM una estación base (nodo central) está conectada con todos los teléfonos móviles (clientes) dentro de un área restringida. Así la topología de la red no es inusual, sino que ya es utilizada en la práctica.

La comunicación vía línea de energía se basa en las señales eléctricas, la información se propaga sobre la línea de energía. Un canal de comunicaciones se define como la trayectoria física entre dos nodos de la comunicación en el cual se propaga la señal de comunicación. En una rejilla de baja tensión hay diversos canales. De hecho los acoplamientos entre la subestación y cada casa son, todos, diferentes canales con diversas características y calidades. Si el sistema de comunicación apoya la comunicación entre las casas, todos estos acoplamientos son también diversos canales.

La calidad se estima en qué tan buena es la comunicación sobre el canal. La calidad es, sobre todo, un parámetro del nivel de ruidos en el receptor y de la **atenuación** de la señal eléctrica en diversas frecuencias. Mientras más alto es el nivel de ruidos es más difícil detectar la señal recibida. Si la señal se atenúa demasiado en su camino al receptor, podría también ser difícil de detectar porque la señal se ocultaría más fácilmente por el ruido.

En la línea de energía el ruido se genera por todas las cargas conectadas con la rejilla. También la radiodifusión interfiere con la comunicación. A su vez, la **atenuación** es un parámetro que depende de la longitud física de la línea, de las uniones mal hechas, del canal y de la **impedancia** [♦] en la rejilla. La línea de energía a menudo se considera un ambiente áspero debido a las características variantes en el tiempo del ruido y de la **atenuación**, pero éste es también el caso en la mayoría de los sistemas de comunicación y limita solamente el nivel de

[♦] Consultar Glosario

funcionamiento que puede ser alcanzado. Los sistemas de comunicación avanzados que existen hoy, son diseñados para superar los problemas con los canales, tales como GSM.

Dado que este trabajo se centra en la investigación sobre la línea de energía (o power-line) como canal de comunicaciones: el objetivo es presentar métodos avanzados de la comunicación digital y apoyar índices binarios más altos y así lograr una comunicación más confiable sobre la rejilla de baja tensión. Para entender el campo del problema son necesarios algunos antecedentes, como los relativos a las comunicaciones digitales.

II.1 Comunicaciones Digitales.

Modelo de Sistema.

La figura 2.2 muestra un modelo simplificado de un sistema de comunicación digital. El objetivo del sistema de comunicación es, como su nombre lo dice, comunicar la información digital (una secuencia de los dígitos binarios de la información) sobre un canal ruidoso en tan altos índices binarios como sea posible. Los datos que se transmitirán podrán originarse de cualquier fuente de la información. En caso de que la información a transmitir sea una señal análoga, un convertidor DE ANALÓGICO A DIGITAL debe preceder al transmisor y uno DE DIGITAL A ANALÓGICO debe encontrarse tras el receptor.

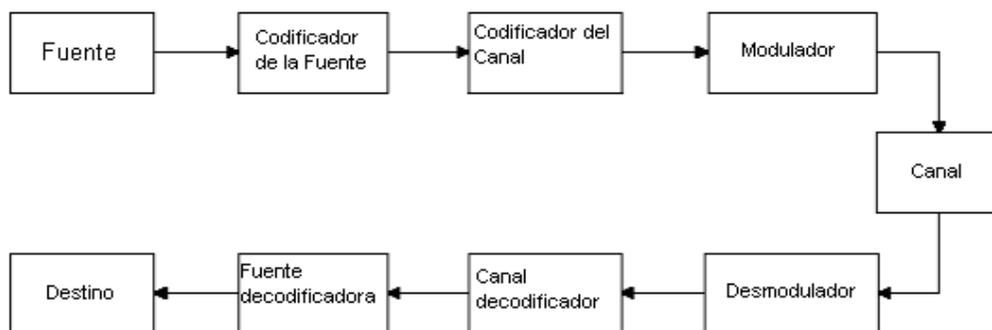


Figura 2-2 Modelo de un sistema de comunicación digital.

El codificador de la fuente hace salir los datos de cierta información que deben ser transmitidos sobre el canal en un **índice binario**, R_b . Una medida del funcionamiento del sistema, se define como la probabilidad de error de bit, P_b , que es la probabilidad de que un bit sea recibido incorrectamente en el destino. Como veremos más adelante, el canal puede interferir con la comunicación, aumentando así la probabilidad de error de bit.

Codificación de Fuente.

La mayoría de los datos contienen cierta redundancia, que permite comprimirlos. Esto es hecho por el codificador de la fuente que reduce al mínimo la cantidad de pedacitos de información transmitidos sobre el canal. En el receptor, el decodificador de la fuente desempaqueta los datos a una reproducción exacta de la fuente (compresión de datos con la menor pérdida) o a una versión distorsionada (compresión de datos de pérdida pequeña). Si la secuencia recibida no tiene que ser una copia exacta de la corriente transmitida, entonces el grado de compresión puede aumentarse.

Codificación del Canal.

Para reducir la probabilidad de error de bit, el codificador del canal agrega la redundancia (bits adicionales del control) a la secuencia del bit de una manera controlada. Cuando un error aparece en la corriente del bit, la información adicional se puede utilizar por el decodificador del canal para detectar, y para corregir posiblemente, el error. La redundancia agregada depende de la cantidad de corrección necesitada, pero también se ajusta a las características del canal.

Modulador.

El modulador produce una señal que lleva la información, propagándose sobre el canal. Los datos se convierten, en esta etapa, de una corriente de bits en una señal análoga que el canal pueda manejar. El modulador tiene un sistema de formas de onda análogas a su disposición y traza cierta forma de onda a un dígito binario o una secuencia de dígitos. En el receptor, el desmodulador intenta detectar qué forma de onda fue transmitida, y convertir la información análoga de nuevo a una secuencia de bits.

Canal.

El canal puede ser cualquier medio físico, tal como alambres del cable coaxial, de teléfono, el aire o el agua. Es importante saber las características del canal, tales como la **atenuación** y el nivel de ruidos, porque estos parámetros afectan directamente el funcionamiento del sistema de comunicación.

Ancho de banda.

El contenido de frecuencias de la señal que lleva la información es de gran importancia. El intervalo de frecuencias usado por el sistema de comunicación se llama el ancho de banda, W . Para un método específico de comunicación, el ancho de banda necesitada es proporcional al **índice binario**. Así, un **índice binario** más alto necesita un ancho de banda más grande para un método fijo. Si el ancho de banda se dobla, entonces el **índice binario** también se dobla.

En el ambiente de hoy, el ancho de banda es limitado y a menudo se fuerza a cierto intervalo pequeño. Esto pone una restricción en el sistema de comunicación para comunicarse dentro del ancho de banda asignado.

Para comparar diversos sistemas de comunicación, la eficacia del ancho de banda, ρ , se define como

$$\rho = \frac{R_b}{W} \quad (2.1)$$

y es una medida de qué tan bueno es el sistema de comunicación. Hoy, un módem avanzado del teléfono puede alcanzar un **índice binario** de 56.6 kb/s usando un ancho de banda de 4 kilociclos y la eficacia del ancho de banda es 14.15 b/s/Hz. Un sistema de medida para el canal de línea de energía, que tiene un **índice binario** de 10 kb/s, tiene una eficacia de ancho de banda de 0.11 b/s/Hz. Además el funcionamiento del módem telefónico es mucho mejor.

Diversidad.

Para reducir la probabilidad de error de canales ásperos, se pueden utilizar las técnicas de diversidad pueden ser utilizadas.

Los ejemplos son la diversidad del tiempo y la diversidad de frecuencia.

En la diversidad del tiempo la misma información es transmitida más de una vez en muchos diferentes instantes del tiempo. Si el canal es malo en un cierto instante del tiempo, la información puede pasar de un momento a otro momento en que el canal es bueno (o mejor). Esto es especialmente útil en los canales de tiempo variante.

La diversidad de frecuencia transmite la misma información a diversas localizaciones de la frecuencia dominante. Puede compararse con el hecho de tener dos antenas y transmitir en diversas frecuencias: si una de ellas falla la otra puede trabajar.

II.2 La Red Eléctrica como canal de comunicaciones y sus características.

Una rejilla de baja tensión consiste en muchos canales, cada uno con sus propias características y calidad.

La figura 2.3 muestra un sistema de comunicación digital usando la línea de energía (power-line) como canal de comunicaciones. El transmisor se muestra a la izquierda y el receptor a la derecha. Los parámetros importantes del sistema de comunicación son la **impedancia** de la salida, Z_t , del transmisor y la **impedancia** de la entrada, Z_r , del receptor.

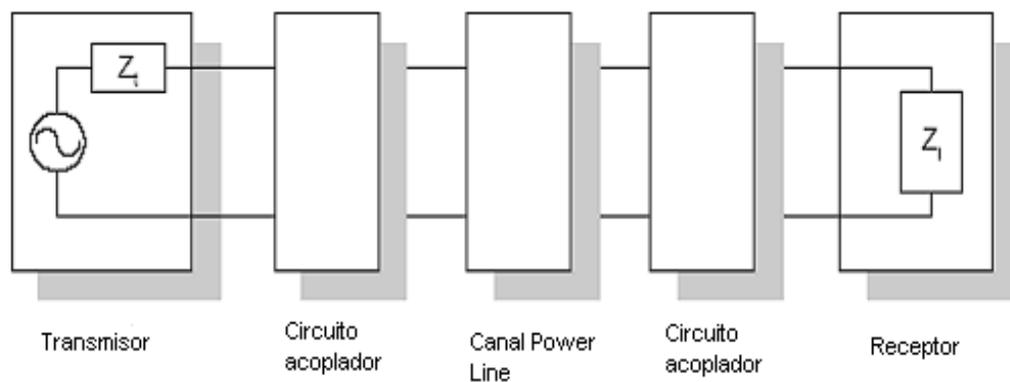


Figura 2-3. Un sistema de comunicación digital para el canal power-line

Un circuito acoplador se utiliza para conectar el sistema de comunicación con el canal power-line. El propósito de los circuitos acopladores es doble. En primer lugar, previene que la señal de 50 **hertzios**, usada para la distribución de energía, pueda entrar en el equipo. En segundo lugar, certifica que la parte principal de la señal de recibir-enviar está dentro de la banda de frecuencias usada para la comunicación. Esto aumenta la gama dinámica del receptor y se verifica que el transmisor no introduzca ninguna señal que interfiere en el canal.

Limitaciones del Ancho de Banda.

Según lo descrito sobre el ancho de banda, éste debe ser proporcional al **índice binario**. Así, es necesario un ancho de banda grande para comunicarse con altos índices binarios.

En Europa el ancho de banda permitido es regulado por el estándar de CENELEC (Comité Européen de Normalisation Electrotechnique). El estándar permite solamente frecuencias entre 3 kilociclos y 148.5 kilociclos. Esto pone una dura restricción en las comunicaciones power-line y puede no ser suficiente para apoyar altas aplicaciones del **índice binario**, tales como vídeo en tiempo real que requiere como mínimo 8 Kbps, dependiendo del funcionamiento necesitado. El siguiente cuadro (Fig. 2.4) muestra el ancho de banda, según lo especificado por el estándar de CENELEC. La gama de frecuencia se subdivide en cinco sub-bandas. Las primeras dos bandas A (3-9 y 9-95 kilociclos) se limitan a los abastecedores de la energía y los clientes de los abastecedores de la energía se limitan a las otras tres, B, C y D. Además de especificar el ancho de banda permitida, el estándar también limita la salida de energía en el transmisor.

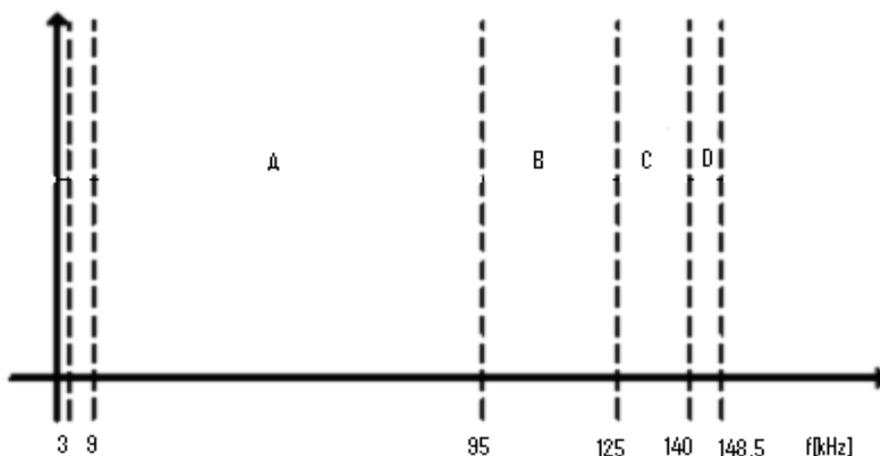


Figura 2-4. Frecuencia estándar de banda en el CENELEC

Para aumentar el **índice binario**, puede ser necesario un ancho de banda más grande. La investigación reciente ha sugerido el uso de frecuencias en el intervalo entre 1 y 20 MHz. Si esta gama pudiera ser utilizada provocaría un aumento enorme en el ancho de banda y quizá permitiría altos usos del **índice binario** en la línea de energía. Aunque un problema importante es que las partes de esta banda de frecuencia están asignadas a otros sistemas de comunicación y no deben ser perturbadas. Otros sistemas de comunicación que usaran estas frecuencias pudieran también perturbar la comunicación sobre la línea de energía. Ejemplos de los sistemas de comunicación en este intervalo son la radiodifusión, la radioafición y los controles de navegación aérea.

Radiación de la señal transmitida.

Al transmitir una señal en la línea de energía la señal se irradia en el aire. Uno puede pensar en la línea de energía como una antena enorme, recibiendo señales y transmitiendo señales. Es importante que la señal irradiada de la línea de energía no interfiera con otros sistemas de comunicación para no generar ruido en la señal.

Al usar el intervalo de la frecuencia 1-20 MHz para la comunicación, la radiación es extremadamente importante porque muchos otros usos de radio se asignan en este intervalo de la frecuencia. No es apropiado que un sistema interfiera con la navegación de los aviones o los sistemas de radiodifusión.

Cuando los cables son subterráneos la radiación es pequeña. En su lugar la radiación de las casas es la que hace la contribución principal a la señal. Los alambres dentro de las casas no se blindan y además irradian fuertemente. Una solución puede ser utilizar filtros para bloquear la señal de comunicación al entrar a la casa.

Uniones mal hechas de la Impedancia.

Normalmente, en la comunicación convencional, se trata de emparejar la **impedancia**, por ejemplo el uso de cables de 50 **ohmios**[♦] y transmisores-receptores de 50 **ohmios**. La red de la línea de energía no se empareja. La **impedancia** de la entrada (y salida) varía en el tiempo, con las diversas cargas y localizaciones. Puede ser tan baja como unos cuantos miliohmios y tan alta como varios miles de **ohmios** y es especialmente baja en la subestación.

A excepción de la **impedancia** del acceso, algunas uniones mal hechas de la **impedancia** pueden ocurrir en el canal de la línea de energía. Por ejemplo las cajas de luz no emparejan los cables y por lo tanto la señal es atenuada.

Proporción de ruido en la señal.

Un parámetro dominante al estimar el funcionamiento de un sistema de comunicación es la proporción de ruido en la señal de la energía, SNR (por sus siglas en inglés).

$$SNR = \frac{\text{Energía_recibida}}{\text{Energía_de_ruido}}$$

Este parámetro se relaciona con el funcionamiento de un sistema de comunicación. El SNR más alto da la mejor comunicación.

La energía de ruido en la línea de energía es una suma de diversas perturbaciones. Las cargas conectadas con la rejilla, tales como la TV, las computadoras y los aspiradores, generan ruido que propagan sobre la línea de energía. Otros sistemas de comunicación pueden también perturbar la comunicación, introduciendo ruido en el receptor.

[♦] Consultar Glosario

Cuando la señal se está propagando del transmisor al receptor, la señal es atenuada. Si la **atenuación** es muy alta, la energía recibida que se consigue es muy baja y no puede ser detectada. La **atenuación** en la línea de energía ha demostrado ser muy alta y pone una restricción en la distancia del transmisor al receptor. Una opción puede ser utilizar los repetidores en las cajas de luz, aumentando así la longitud de la comunicación.

El uso de filtros podría mejorar la reducción de ruido en la señal. Si un filtro se coloca en cada casa bloqueando el ruido generado dentro de la rejilla, el nivel de ruidos en la rejilla disminuirá, pero el costo sería más alto.

Es importante precisar que aunque la línea de energía se considera un ambiente áspero, en cuanto a la **atenuación** y a las perturbaciones, estos mismos parámetros existen en cualquier sistema de comunicación usado actualmente.

El comportamiento del tiempo de variación de la rejilla.

Un problema con el canal de la línea de energía es el tiempo de variación de las debilitaciones, es decir las bajas en la calidad de señal. El nivel de ruidos y la **atenuación** dependen en parte del sistema de cargas conectadas, que varía en tiempo. Un canal que es variante en tiempo complica el diseño de un sistema de comunicación. En algunos momentos la comunicación puede trabajar bien, pero otras veces una fuerte fuente de ruido podría encontrarse inherente en el canal, bloqueando así la comunicación.

Para resolver esto, una solución posible es permitir que el sistema de comunicación se adapte al canal. Las características del canal se estiman en cualquier momento con diversas medidas, y el efecto se evalúa para tomar una mejor decisión. El costo de esto es más alto.

Modelo del canal de las comunicaciones de la Red Eléctrica.

Anteriormente hemos visto algunos factores adversos que reducen el funcionamiento de un sistema de comunicación power-line:

- Uniones mal hechas de la **impedancia** en el transmisor.
- **Atenuación** del canal.
- Perturbaciones (ruido).
- Uniones mal hechas de la **impedancia** en el receptor.
- Tiempo de variación de las debilitaciones.

La figura 2.5 muestra un modelo del canal de la línea de energía con los parámetros arriba mencionados. Todas las debilitaciones, excepto el ruido se muestran como filtros de variación de tiempo lineales, caracterizados por su respuesta de frecuencia. La perturbación se muestra como un proceso añadido al azar, que interfiere.

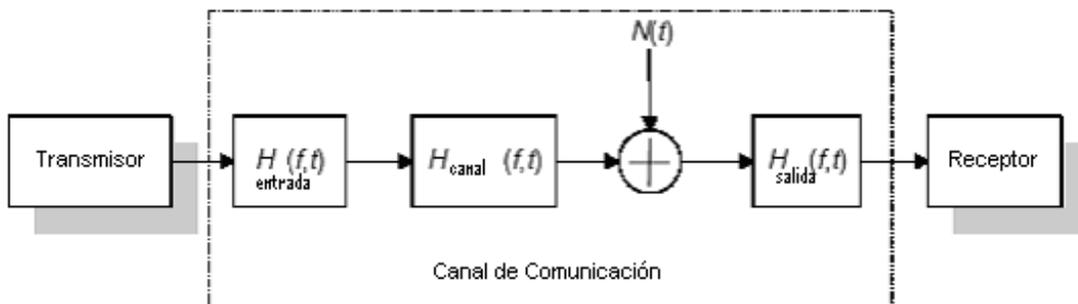


Figura 2-5 Debilitaciones presentes en el canal power-line. H , representa la función de transferencia, de entrada en el canal y de salida. N , es cualquiera de las debilitaciones presentadas al azar.

Todas las debilitaciones arriba mencionadas se pueden incorporar en un sólo modelo de filtro, mostrado en la figura 2.6, el cual consiste en un ruido variante en el tiempo del filtro y del añadido.

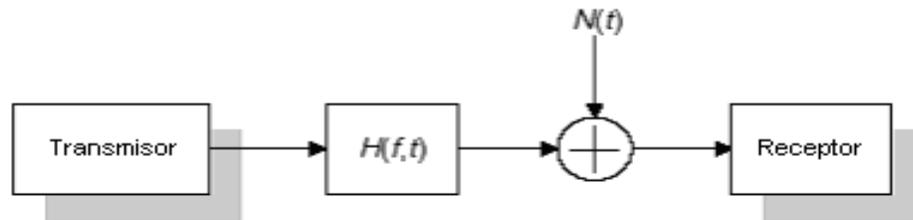


Figura 2-6 Un modelo simplificado del canal power-line.

El desafío de la forma simple de este modelo es incluir una amplia gama de características esenciales para el diseño del sistema de comunicación y para el funcionamiento correspondiente.

La función de transferencia y el ruido pueden estimarse con medidas o derivar por análisis teórico. Más aún, son necesarias muchas medidas o modelos para tener una comprensión cuidadosa de la rejilla, debido a la variación de sus características.

II.3 Comunicación. Características del canal de la rejilla de bajo voltaje.

Para diseñar un sistema de comunicación para un canal específico es conveniente tener cierto conocimiento básico de las características del canal. Si un sistema de comunicación se puede emparejar a un canal, mejora el funcionamiento.

La intención con el canal power-line descrito aquí, es estudiar las propiedades y comportamiento del canal de comunicaciones observando un sistema existente usado en la rejilla de baja tensión en un uso típico. Aquí nos centramos en las

grandes variaciones del canal de comunicaciones: cómo es que su calidad depende de diversos tiempos de ventanas, de distancias y de cargas.

Es bien sabido en la teoría de comunicación que cualquier sistema de comunicación práctico tendrá problemas si la proporción de ruido en la señal en el receptor cae debajo de cierto nivel. Esto obviamente, puede suceder también en el canal de comunicaciones power-line como resultado de las debilitaciones del canal, la **atenuación** de la señal, la degradación de la señal y las fuentes de ruido a lo largo del recorrido de la señal. La calidad de un canal es una medida de qué tan bueno es el funcionamiento del sistema de comunicación.

Para obtener resultados cuantitativos, se calculan los parámetros relacionados con la calidad del canal de comunicaciones. El parámetro más usado es una estimación de la probabilidad de que las retransmisiones de supuestas transacciones sean hechas. Este parámetro se utiliza como indicador de la calidad del canal de comunicaciones, puesto que se hace una retransmisión cuando el receptor no puede tomar una decisión confiable, que alternadamente es normal debido a las debilitaciones del canal. Por lo tanto, un valor bajo en la probabilidad de retransmisiones indica un "buen" canal de comunicaciones.

Debe observarse que la probabilidad estimada, no mide la confiabilidad en las decisiones finales producidas por el sistema de comunicación. En general, una alta confiabilidad en las decisiones finales se puede obtener con los sistemas de comunicación usando retransmisiones.

El Sistema PLC

La espina dorsal de PLC es la posibilidad de apoyar servicios tales como sistemas de alarma. La estructura de PLC se diseña para ser una arquitectura de sistema abierto y fácilmente extensible a los usos específicos del productor y del consumidor, tales como el acceso a internet.

PLC consiste de tres porciones importantes. El Nodo Multi-Funcional (MFN, por sus siglas en inglés), el concentrador y el nodo de la comunicación (CCN), y el sistema de la operación y de gerencia (OMS), estos dos últimos se conectados a través de una línea de comunicación como puede ser la fibra óptica. El siguiente cuadro (Fig. 2.7) muestra cómo las piezas están conectadas en un sistema típico.

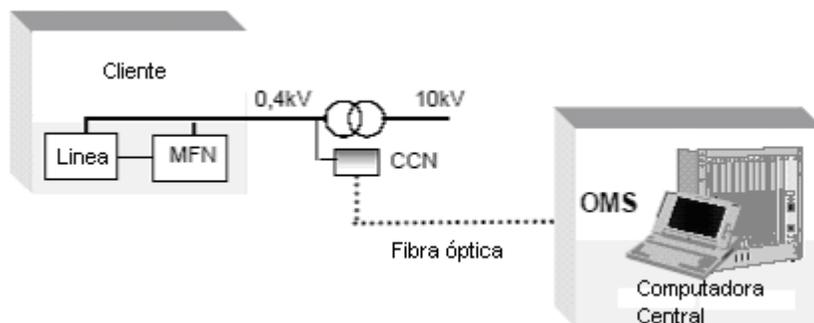


Figura 2-7 Las diversas partes del sistema PLC y cómo están conectados.

El MFN es una unidad que está instalada en cada casa como pieza integrada o separada de la línea. Se encarga de leer el valor de la línea cada hora y lo almacena en una memoria. La memoria puede almacenar hasta 40 días de valores de la línea.

El concentrador (CCN) maneja todos los nodos multifuncionales (MFN's) en un área, una rejilla de baja tensión, y es responsable de recoger los valores de la línea. Generalmente, el CCN está instalado en una subestación y consiste en una PC ordinaria. Finalmente un sistema de operación y gerencia (OMS) maneja un sistema de CCN's. Los valores de la línea recogidos por el CCN se almacenan en el OMS donde pueden ser observados y analizados.

II.4 La puesta en práctica en Pårtoorp (Suecia).

La figura 2.8 muestra un mapa de la rejilla de baja tensión en Påtorp (PLC-P) donde se han realizado algunos experimentos. El área consiste en cerca de 70 casas y es apoyada por una subestación. Las casas están conectadas con la rejilla de baja tensión por medio de las cajas de luz, también mostradas en la figura 1.8. Los marcadores colocados a través de las líneas de baja tensión significan que la conexión está apagada.

En Påtorp un MFN está instalado en cada casa. El MFN está conectado con la rejilla de baja tensión y con la línea, que en la mayoría de los casos se pone fuera de la casa. El CCN; está instalado en la subestación T159 (Ver figura 2-8), está conectado con el OMS a través una fibra óptica. El OMS se ubica dentro de una casa a un par de kilómetros de Påtorp.

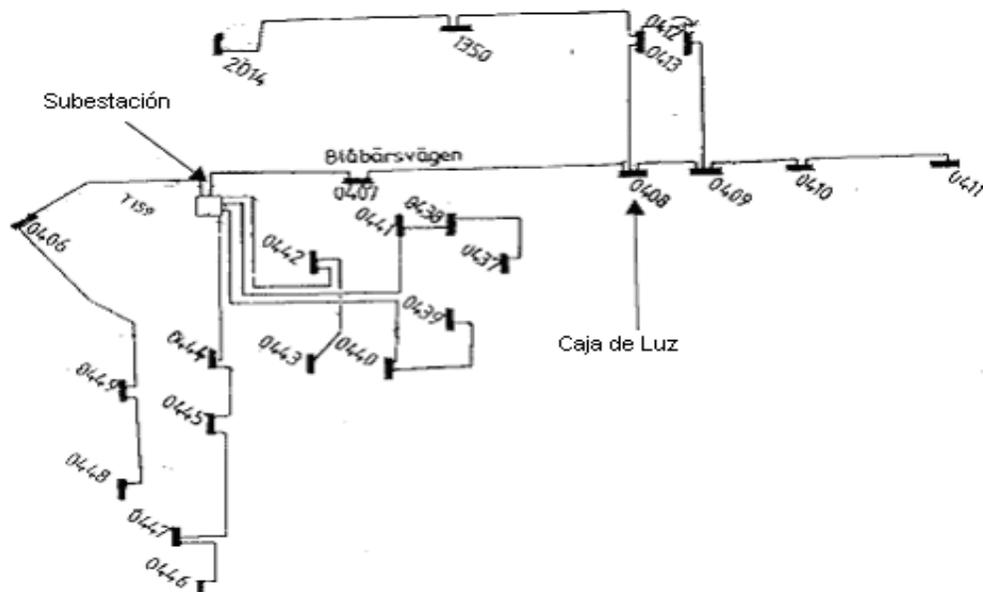


Figura 2-8 la rejilla de baja tensión en Påtorp. Los números se relacionan con las cajas de luz (mostradas con rectángulos negros) y la subestación está señalada.

La comunicación en PLC-P.

La comunicación entre el CCN y los MFN's está, en todos los casos, sobre la línea de energía. Cada hora, el CCN registra cada MFN para conseguir los valores de la línea. Para controlar los MFN's, y leer los valores de la línea, es necesaria una serie de transacciones. Una transacción es definida como la secuencia combinada de una petición por el CCN seguida por una contestación, con unos ciertos datos, de un MFN. Para cada transacción, se invoca el sistema de comunicación, en el cual está construido el PLC-P. Si una transacción falla, entonces PLC-P lo notifica y el CCN realiza intentos hasta que se tiene éxito en la transacción. Toda la comunicación se da entre el CCN y los MFN's. No hay comunicación entre las casas en el área.

El resultado de cada transacción, si ha fallado o no, se guarda en un archivo de entrada para la transformación posterior. Este archivo de entrada se puede utilizar para recuperar la información sobre el funcionamiento de la comunicación. La información que se utiliza es la siguiente:

e_i , el número de transacciones falladas a la casa i .

N_i , el número total de transacciones a la casa i .

Los nuevos valores se obtienen cada hora. Si la comunicación es sin error, el N_i es generalmente dos por hora y el e_i es cero por hora.

Los valores recogidos de la línea se almacenan en un archivo en el OMS. Estos valores se han utilizado para estudiar el efecto de las cargas en la calidad del canal.

III. LA COMUNICACIÓN TÉCNICA.

En este capítulo se analizará el sistema PLC de Pårtoip (PLC-P), descrito anteriormente. El PLC-P comunica en una banda de frecuencias de 9-95 kHz. El **índice binario** es bajo, algunos kb/s, y la técnica de la comunicación usada es la de separar el espectro.

III.1 Funcionamiento total estimado de los canales de comunicaciones.

En Pårtoip el CCN se comunica con 59 MFN's, que geográficamente están separados. Por lo tanto, esto significa que 59 canales de comunicaciones están presentes en el área, y la calidad de estos canales puede ser muy diferente.

Con la información dada en los archivos de registro, una estimación, P_i , de la probabilidad de una retransmisión de una transacción entre el CCN y la casa número i (MFN número i), se pueden obtener como:

$$P_i = \frac{e_i}{N_i} \quad (3.1)$$

Este parámetro es una estimación de la probabilidad del rechazo de una transacción individual en el CCN debido a las debilitaciones del canal, pero preferimos referirnos al P_i como un indicador estimado de la debilitación del canal a la casa i .

Recordando que:

e_i , el número de transacciones falladas a la casa i .

N_i , el número total de transacciones a la casa i .

Supongamos $i = 3$, $e_i = 8$, $N_i = 100$, los resultados serían los siguientes:

$$P_i = \frac{e_i}{N_i} = \frac{8}{100} = 0.08$$

Es decir, la probabilidad de retransmisión de la casa número 3, es del 8%.

Para poder saber cómo cambia la calidad de los canales de comunicaciones en un cierto plazo (variaciones en grande), las nuevas estimaciones se calculan para cada hora (normalmente). Aunque los datos estadísticos disponibles son limitados, los resultados cuantitativos obtenidos se pueden utilizar como indicación de cómo la calidad de los canales de comunicaciones depende de diversos tiempos de ventana, distancias y cargas.

El funcionamiento promedio de los canales.

El promedio, P , de los indicadores de la debilitación del canal, P_i , es una medida de la calidad media total de los canales de comunicaciones de K ($= 59$) en el área durante una hora y se obtiene como:

$$P = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K P_i \quad (3-2)$$

Suponiendo y tabulando de la siguiente manera, el resultado sería:

| <i>i</i> | Pi | <i>i</i> | Pi | <i>i</i> | Pi |
|----------|------|----------|------|----------|------|
| 1 | 0.72 | 21 | 0.21 | 41 | 0.95 |
| 2 | 0.05 | 22 | 0.77 | 42 | 0.32 |
| 3 | 0.85 | 23 | 0.55 | 43 | 0.38 |
| 4 | 0.39 | 24 | 0.08 | 44 | 0.10 |
| 5 | 0.53 | 25 | 0.93 | 45 | 0.31 |
| 6 | 0.61 | 26 | 0.58 | 46 | 0.16 |
| 7 | 0.20 | 27 | 0.09 | 47 | 0.52 |
| 8 | 0.08 | 28 | 0.57 | 48 | 0.42 |
| 9 | 0.35 | 29 | 0.61 | 49 | 0.90 |
| 10 | 0.13 | 30 | 0.22 | 50 | 0.25 |
| 11 | 0.14 | 31 | 0.84 | 51 | 0.74 |
| 12 | 0.28 | 32 | 0.09 | 52 | 0.21 |
| 13 | 0.86 | 33 | 0.37 | 53 | 0.07 |
| 14 | 0.22 | 34 | 0.70 | 54 | 0.72 |
| 15 | 0.53 | 35 | 0.25 | 55 | 0.94 |
| 16 | 0.52 | 36 | 0.02 | 56 | 0.20 |
| 17 | 0.77 | 37 | 0.82 | 57 | 0.49 |
| 18 | 0.19 | 38 | 0.68 | 58 | 0.14 |
| 19 | 0.04 | 39 | 0.32 | 59 | 0.43 |
| 20 | 0.83 | 40 | 0.03 | | |

$$P = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K P_i = \frac{1}{59} [25.27] = 0.4283$$

Por lo tanto el promedio de los indicadores de la debilitación del canal sería de 42.83%.

El número de casas que experimentan por lo menos una retransmisión.

El número de las transacciones iniciadas a cada casa en PLC-P en general no es igual porque la cantidad de retransmisiones depende de la calidad del canal de comunicaciones correspondiente. Una medida diferente de qué tan bien trabaja la comunicación, es contar el número de las casas que tienen un valor diferente a cero, e_i . Se observa que estos resultados son solamente válidos mientras el sistema de la lectura de línea está en uso. Si el número de transacciones aumenta

(nuevos usos), el número de las casas que experimentan retransmisiones por supuesto aumentará.

La Probabilidad Total de la Retransmisión.

Como PLC-P hace las retransmisiones a las casas que correspondían a los canales de baja calidad uno puede creer que la información es recogida haciendo apenas algunas retransmisiones. El hecho es que muchas de las retransmisiones se necesitan en general para recoger todos los datos. Cada hora el CCN inicia dos transacciones a cada MFN. Si todos los canales fueran canales de alta calidad, solamente 118 transacciones por hora serían necesarias. Se calcula la probabilidad estimada total de la retransmisión, PCCN, como:

$$P_{CCN} = \frac{\sum_{i=1}^K e_i}{\sum_{i=1}^K N_i} \quad (3-3)$$

Supongamos $K = 3$, y para e_i y N_i , lo siguiente:

| K | e | N |
|----------|----------|----------|
| 1 | 17 | 198 |
| 2 | 3 | 169 |
| 3 | 22 | 172 |

El resultado sería el siguiente:

$$P_{CCN} = \frac{\sum_{i=1}^K e_i}{\sum_{i=1}^K N_i} = \frac{42}{539} = 0.0779$$

Por lo tanto la probabilidad de retransmisión total, sería de 7.79% para las primeras 3 casas.

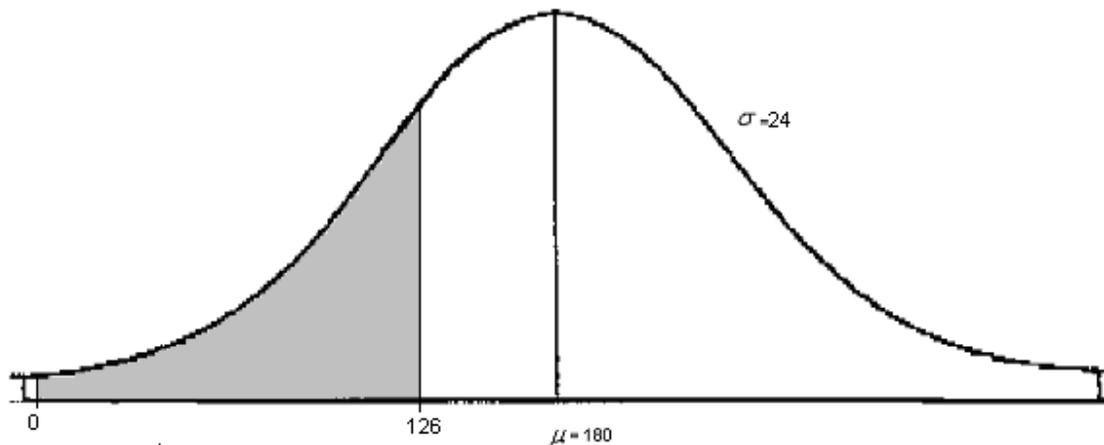
De los archivos de descarga se encuentra que, a grosso modo, 70% del número total de transacciones son rechazadas $P_{CCN} \approx 0.7$. La razón de esto es que la parte principal de la comunicación está dirigida a las casas que corresponden a los canales de comunicaciones de baja calidad. Estudiando los archivos de registro también se ve que algunas casas están direccionadas cerca de 70 veces por hora, mientras que otras casas casi nunca son blanco de una retransmisión. Por lo tanto, esto indica una gama significativa en calidad entre los canales de comunicaciones. Para hacer esto mas explicito, denotamos:

Media, $\mu = 180$

Transacciones rechazadas $x = 126$

$$z = \frac{126 - 180}{24} = -2.25$$

De aquí que:



$\sigma = e_i$, el número de transacciones falladas a la casa i .

$\mu = N_i$, el número total de transacciones a la casa i .

$$P(X < 126) = P(Z < -2.25)$$

$$P = 0.0122$$

Por lo tanto esto indica que solo el 1.22% tendrá una retransmisión.

III.2 Perfil de la Carga.

Se puede definir una carga como un dispositivo conectado con la rejilla de baja tensión. Una carga interfiere con la comunicación power-line en diversas maneras. La interferencia causada por la carga puede perturbar el receptor, y la **impedancia** de la entrada de la carga puede alterar la señal de **atenuación**/degradación del canal.

Los datos recogidos de la línea dan el perfil supuesto de la carga, que es equivalente a la energía usada en el área de Pátorp en diversas horas. Comparando el perfil de la carga con el promedio de los indicadores estimados de la debilitación del canal es posible estudiar la influencia de cargas en la calidad de los canales de comunicaciones.

Perfil de la Carga y Debilitaciones del Canal de Comunicaciones.

Puesto que los valores de la línea se leen solamente en una base cada hora, no es posible hacer las conclusiones confiables para una sola casa. La razón es que la comunicación a una casa específica está solamente en marcha durante un rato corto, apenas suficiente para recoger los datos de la línea, y estos datos dicen poco sobre la carga durante el intervalo (corto) del tiempo cuando la casa fue alcanzada.

En muchos casos, cuando el uso de la energía es alto, la calidad de los canales de comunicaciones es baja (los indicadores de la debilitación del canal son altos). Esto es lo esperado porque cuando el uso de la energía es alto, más dispositivos están conectados con la rejilla y por lo tanto existen más fuentes posibles de debilitaciones.

La relación entre los dos parámetros no es lineal, porque la dependencia entre el uso de la energía de un dispositivo y su debilitación en el canal no es lineal. Por lo tanto la calidad de los canales puede ser baja, aunque el uso de la energía sea bajo.

III.3 El efecto de las cargas en la Línea de Energía.

La influencia de la carga en la comunicación.

Hay dos tipos de influencia en la carga de comunicación; una es cuando está conectada con la subestación y la otra es cuando está conectada en una caja de luz. A continuación detallaremos un poco cada una de ellas.

La influencia de la carga cuando está conectada con la subestación.

Las debilitaciones del canal aumentan considerablemente cuando la carga es activa. P (el promedio de debilitaciones) aumenta a partir del 15% hasta el 35-40%. Dependiendo del número de nodos que requieran por lo menos una retransmisión aumenta de 10 a 30% la aspereza en los nodos cuando la carga es activa.

La influencia de la carga cuando está conectada en una caja de luz.

La localización de una carga movable no degrada la calidad del canal tanto como si se sitúa en la subestación. El promedio de los indicadores de la debilitación del canal aumenta a partir de 15% a 20-25%. Una razón es la distancia entre la carga y la subestación. Por lo tanto, no muchos canales de comunicación son afectados por la carga. Solamente 25% de las casas en el ejemplo del poblado de Pátorp, están conectados con esta línea de baja tensión, así que si se asume que la carga

no causa demasiada interferencia en las otras líneas de baja tensión, el valor de P debe ser más bajo.

El efecto de una carga en la comunicación power-line es observado por un sistema corriente de la lectura de contador (PLC-P) que funciona en la rejilla de baja tensión, para obtener datos del proceso.

Para investigar la influencia de una carga específica en la calidad de los canales de comunicaciones, fue conectada una carga movable, la cual consistía en un sistema de máquinas industriales, con varias localizaciones en la rejilla. Cuando la carga fue conectada en el nodo central de la comunicación, que está situado en la estación secundaria, todos los canales de comunicaciones fueron influenciados directamente por la carga y el parámetro medio de la debilitación del canal, creciente perceptiblemente, fue áspero, de 0.15 a 0.40. Cuando la carga fue conectada en una caja de luz, a 220 m de la subestación, el parámetro correspondiente fue creciente hasta ser áspero en 0.25. Esto es razonable puesto que los efectos negativos de la carga serán más sensibles en los canales de comunicaciones que están cerca de la carga. Por lo tanto, los canales que corresponden a otras líneas de baja tensión se afectan mucho menos. Sin embargo, los canales que estaban muy cerca de la carga experimentaron una disminución dramática de la calidad del canal.

IV. MEDIDAS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA REJILLA DE BAJA TENSIÓN.

El funcionamiento de un sistema de comunicación se relaciona directamente con el nivel de ruidos en el receptor y la **atenuación** del canal. Si el nivel de ruidos o la **atenuación** son demasiado altos, entonces cualquier sistema de comunicación tendrá problemas. Para diseñar un sistema de comunicación es útil tener tanto conocimiento como sea posible de estos parámetros. Si se sabe que la **atenuación** es una combinación apropiada de la codificación, de la diversidad y de la opción del método de la modulación, puede aumentar el funcionamiento del sistema de comunicación.

Más adelante veremos las características de algunos canales en una rejilla de baja tensión específica. Las medidas se han hecho en varias localizaciones en la rejilla, correspondientes a estos canales, para estimar el nivel de ruidos y la **atenuación** del canal power-line.

IV.1 Disposición de Medida.

Las medidas se realizaron con un osciloscopio y un generador de función. Para proteger el equipo sensible contra los 220 V que lo dañaban y los 50 **hertzios** de señal usada para la distribución de energía, se han utilizado los circuitos pasivos del acoplador. Un diagrama esquemático de la disposición se muestra en la figura 4-1 (compare con la figura 2-3).

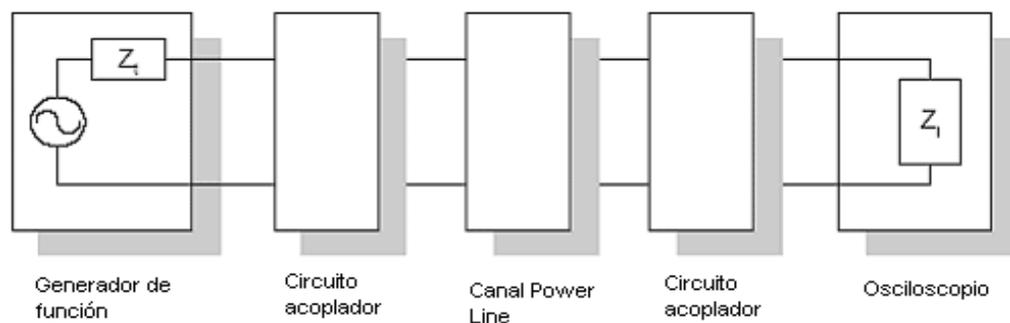


Figura 4-1. Diagrama esquemático de de la disposición de medida.

Z_g , es la **impedancia** de la salida del generador de función y Z_l la **impedancia** de la entrada del osciloscopio. Estas **impedancias** se han fijado a 50 **ohmios**, que es apoyada por la mayoría de los dispositivos de la medida y también utilizada en muchos usos de comunicación.

IV.2 Técnicas De la Medida

Medidas De Ruido

Se ha elegido estimar el espectro de energía como una medida del nivel de ruidos, $R(f)$. El espectro de energía, describe cómo la energía de una señal se distribuye en el dominio de la frecuencia.

Para estimar el espectro de energía de una señal, se han tomado N muestras en el dominio del tiempo, en un rango de frecuencias simples por segundo, lo cual se denota; Fs/s . Calculando la transformada discreta de Fourier con las muestras es posible obtener una estimación del espectro de energía. Más adelante se explicará el procedimiento.

En todos los casos el número de muestras se ha fijado a 1 MB (el límite del osciloscopio) y el rango de la muestra y la longitud de la ventana se han fijado dependiendo de la banda de frecuencia de interés.

Medidas de la Atenuación

Se ha medido la **atenuación** usando un generador de función, transmitiendo una señal de chirrido con amplitud constante (en una **impedancia** fija) en la

subestación. Una señal de chirrido, es una señal que comienza en una frecuencia dada y continuamente aumenta (o disminuye), hasta que alcanza la frecuencia final. El generador de función se ha fijado para generar esta señal periódicamente con un tiempo de barrido de dos minutos.

Cuando la señal de chirrido llega al receptor, ésta ha sido afectada por el canal y atenuada. Como la **atenuación** varía en frecuencia, diversas partes de la señal de chirrido se atenúan en forma diferente y la señal recibida es una medida de la respuesta de frecuencia del canal.

Para estimar la **atenuación**, los bloques de longitud de las N muestras se han tomado en varias ocasiones de la señal recibida (en un rango mucho más alto que el índice del barrido del generador de función) en un índice de la muestra de Frecuencias-simples / segundo. Tomando al máximo de todos los bloques (para cada frecuencia) conseguimos una estimación de la **atenuación** para cada frecuencia (si se asume que la energía en la señal recibida es mayor que la energía del ruido). Como los bloques son mucho más cortos (en tiempo) que la longitud del tiempo del barrido, conseguimos una resolución de punto fino de la respuesta de frecuencia. Este proceso es el mismo método que si transmitiéramos un tono **sinusoidal** puro, calculando el espectro de energía de este tono, cambiando la frecuencia a otro tono, y así sucesivamente hasta que se ha medido la respuesta de frecuencia para un número arbitrario de bloques.

La amplitud de la señal transmitida se ha fijado a 2.5 V (en 50 **ohmios**) y la gama del chirrido se ha templado a la banda de frecuencia del interés.

IV.3 Teoría de la estimación del espectro de energía

El espectro de energía se ha obtenido por medio de la transformada discreta de Fourier. En esta sección, f es la frecuencia normalizada, es decir, la frecuencia original dividida por el rango de la muestra. Suponemos que tenemos una

secuencia de N muestras, $x(n)$, de un proceso al azar inmóvil, $x_a(t)$, con espectro de energía verdadero $R_{xx}(f)$. Se calcula la transformada discreta de fourier, $X(f)$, de esta secuencia como

$$X(f) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-j2\pi n f} \quad (4-1)$$

El espectro de energía del proceso estocástico se estima como

$$\tilde{R}_{xx}(f) = \frac{1}{N} \left| \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-j2\pi n f} \right|^2 \quad (4-2)$$

y se llama un periodo-grama.

La variación de esta valoración cuando N tiende a infinito y la secuencia de los datos es un proceso al azar gaussiano es:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \text{var}[\tilde{R}_{xx}(f)] = R_{xx}^2(f) \quad (4-3)$$

Así, la valoración no es una estimación constante (la variación no converge a cero) del espectro de energía verdadero. Para reducir la variación se utilizan varios métodos. Una técnica es el método de Welch. En el método de Welch, de varios periodo-gramas se hace un promedio para reducir la variación. El costo de este esquema es una reducción en la resolución de la frecuencia.

Se supone que tenemos una secuencia de las muestras de N , $x(n)$, de un proceso estocástico inmóvil. Entonces, las muestras de N se pueden subdividir en L segmentos de muestras de M . Así, los segmentos se representan como:

$$x_i(n) = x(n + iD) \quad i = 0, 1, \dots, L-1, \quad n = 0, 1, \dots, M-1 \quad (4-4)$$

Los segmentos pueden traslaparse y por lo tanto D no es necesariamente igual a M .

IV.3.1 Medidas al aire libre en la banda de frecuencia de 1-16 megaciclo.

En esta sección estudiamos las características del canal power-line en la banda de frecuencia de 1-16 megaciclos. El interés en este intervalo de la frecuencia ha aumentado debido al nivel de ruidos más bajo y más estable asumido en esta banda de frecuencia. Otra razón es la demanda para índices binarios más altos, que sugiere un ancho de banda amplio.

Anteriormente mostrábamos que la calidad de los canales en esta rejilla varía dependiendo de la localización en la rejilla (entre otros factores). En esta sección estudiamos una línea de baja tensión con algunos canales de baja calidad y una con solamente los canales de alta calidad. Se puede observar que la calidad de los canales era estimada del sistema de PLC-P, que utiliza los estándares del CENELEC.

Se van a estudiar las cajas de luz números 444, 447 (estas dos conectadas en la misma línea de bajo voltaje) y 443; tal como se ven en la figura 4-2. Mientras que las cajas de luz 444 y 443 pueden ser consideradas como canales de alta calidad, la caja 447 representa un canal de baja calidad.

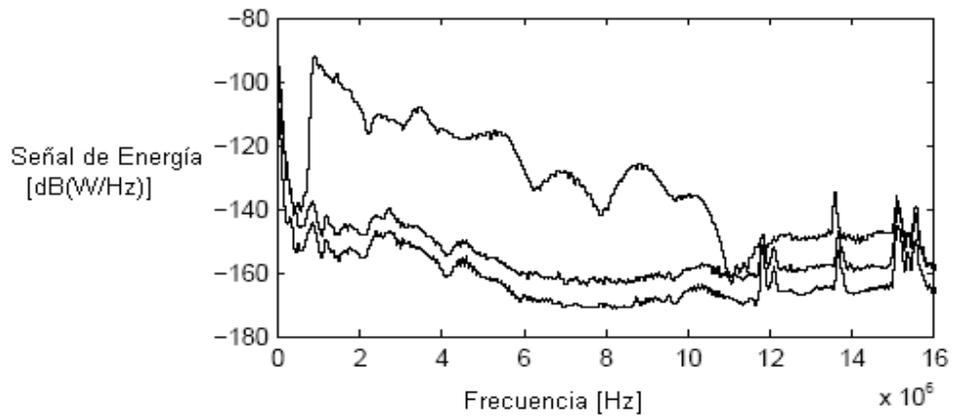


Figura 4-3. La señal recibida y el espectro de energía del ruido en la caja de luz 443. El rastro superior muestra la señal recibida, el rastro medio el ruido máximo y el rastro inferior el nivel de ruidos medio.

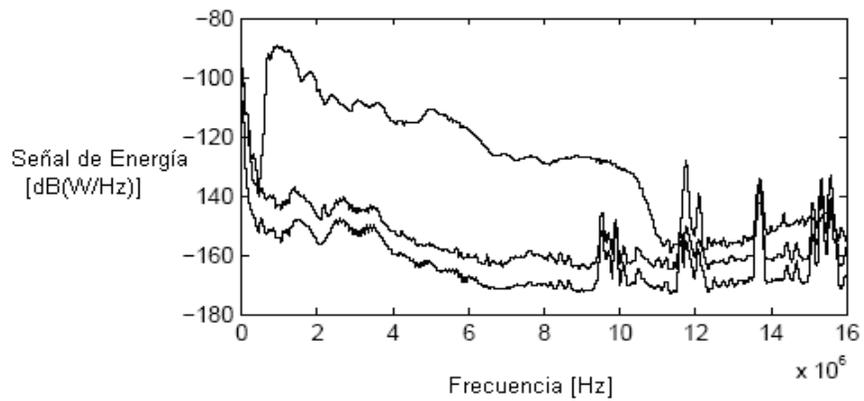


Figura 4-4. La señal recibida y el espectro de energía del ruido en la caja de luz 444. El rastro superior demuestra la señal recibida, el rastro medio el ruido máximo y el rastro inferior el nivel de ruidos medio.

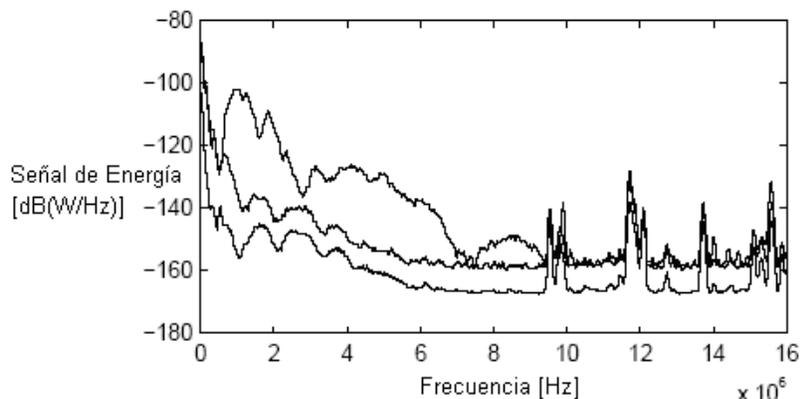


Figura 4-5. La señal recibida y el espectro de energía del ruido en la caja de luz 447. El rastro superior demuestra la señal recibida, el rastro medio el ruido máximo y el rastro inferior el nivel de ruidos medio.

Los SNR (proporción de ruido en la señal) en las cajas de luz 443 y 444 son moderadamente buenos, debajo de 10 MHz, pues están sobre los 20 dB. Estas dos cajas de luz están situadas a cerca de 100 m de la subestación. La Caja de luz, 447 está situada en la misma línea de baja tensión que la caja de luz 444, a una distancia de 220 m de la subestación. Esta caja de luz tiene un SNR áspero, de hasta 25 dB más bajo que la caja de luz 444. Esto es razonable puesto que un canal físico más largo implica una **atenuación** más alta. Las figuras 4-2 a la 4-4 también muestran que el SNR real varía con la frecuencia.

Está claro también que la mayor parte de la energía se pierde en la subestación. Cuando la señal alcanza la primera caja de luz, por lo menos se han perdido 25 dB (para los de alta frecuencia mucho más). Esto pudo ser debido a las uniones mal hechas de la **impedancia** entre el transmisor y el cable de energía y a las uniones mal hechas de la **impedancia** dentro de la subestación.

Las medidas dentro de 15 y 20 Hz muestran una función de transferencia similar, como se ha medido, con un canal de frecuencia selectiva, decayendo con la frecuencia.

IV.3.2 Medidas al aire libre en la banda de frecuencia de 20-450 kilociclos.

La banda de frecuencia hasta 450 kilociclos es de interés particular porque incluye el ancho de banda permitido en Europa, 8 Hz, y también incluye el ancho de banda usado normalmente en los Estados Unidos y el Japón. En esta sección estudiamos el nivel de ruidos y la **atenuación** de estas frecuencias para las mismas cajas de luz que en la sección anterior, cajas de luz 443, 444 y 447.

Los resultados en el Capítulo III demuestran que las cajas de luz 443 y 444 se pueden considerar relativamente como canales de alta calidad; contrariamente, la caja 447 se considera un canal de baja calidad. El sistema de PLC-P, que es el sistema que se observó en capítulos anteriores, utiliza frecuencias de 9-95 kilociclos, que están dentro de la banda de frecuencia considerada aquí. Un objetivo con estas medidas también ha sido intentar precisar qué parámetros reducen la calidad de algunos canales en el sistema de PLC-P. Obsérvese que no se evalúa PLC-P, solamente la calidad de los canales que se utilizan en el sistema.

El Nivel de ruidos

Las figuras 4-5 a 4-7 muestran el nivel de ruidos en cada caja de luz considerada. Las medidas se muestran para un día laborable y un fin de semana. Las medidas muestran que el nivel de ruidos decae con la frecuencia y es especialmente alto en la banda de frecuencia hasta 95 kilociclos. En 25 kilociclos el nivel de ruidos es cerca de -110 dB(W/Hz). También se ve que existen varias señales de banda estrecha en el canal, con la localización y la fuerza variantes, dependiendo de la

caja de luz real. Las medidas demuestran que el nivel de ruidos tiende a ser más alto durante el fin de semana, lo que puede implicar un efecto variación-tiempo del canal. Las medidas hasta 100 kilociclos, se realizan dentro de los 24 Hz y muestran el mismo nivel de ruidos, respecto a lo que se presenta aquí.

La caja de luz 447 se considera un canal de baja calidad, las figuras 4-6 a la 4-8 muestran que el ruido en la banda parece ser más alto para esta caja de luz que los otros dos, lo que podría explicar algunos de los problemas experimentados con este canal por el sistema de PLC-P.

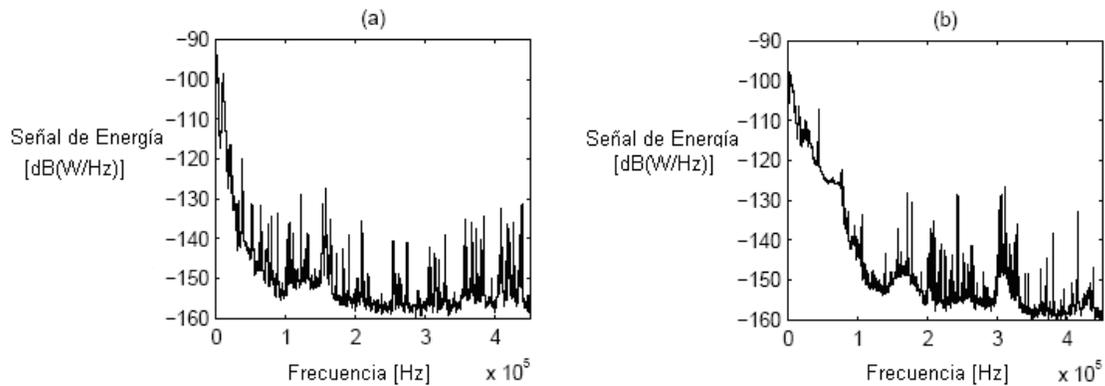


Figura 4-6. Ejemplos del espectro de energía del ruido en la caja de luz 443 para un día laborable (a) y un fin de semana (b).

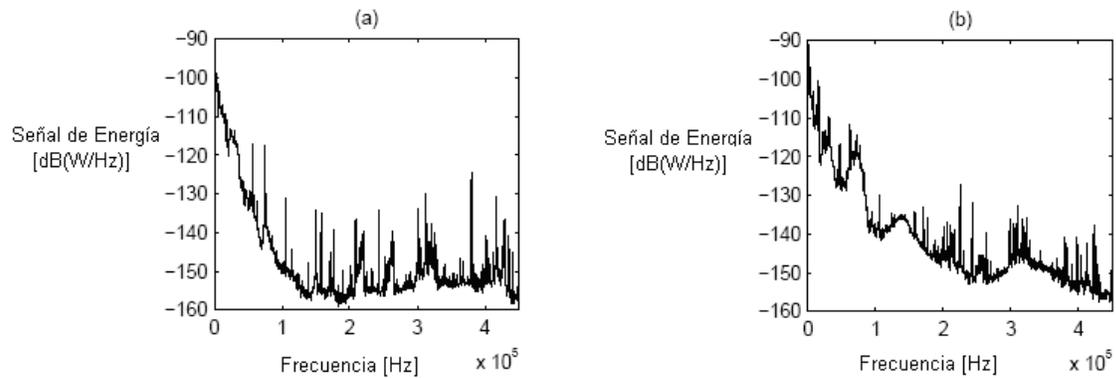


Figura 4-7. Ejemplos del espectro de energía del ruido en la caja de luz 444 para un día laborable (a) y un fin de semana (b).

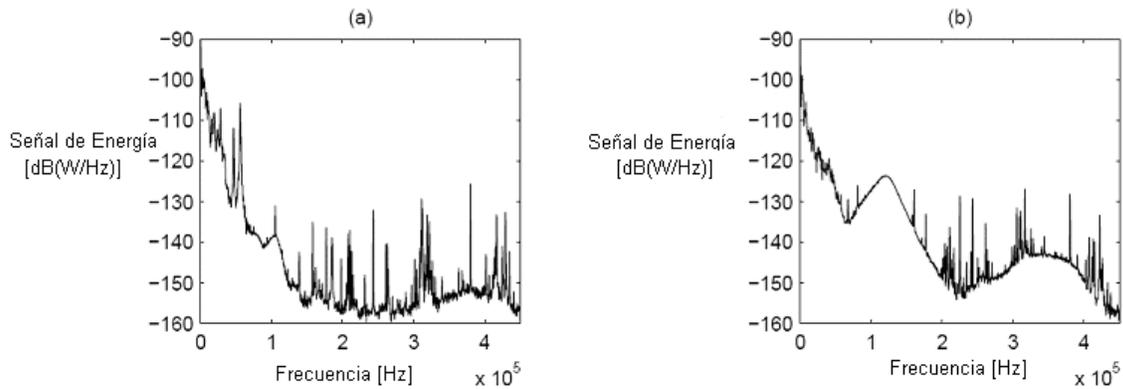


Figura 4-8. Ejemplos del espectro de energía del ruido en la caja de luz 447 para un día laborable (a) y un fin de semana (b).

La Atenuación.

Una señal de chirrido a partir de 20 kilociclos (esta frecuencia se ha elegido debido a una limitación en el generador de función) hasta 450 kilociclos con una magnitud de 2.5 V (en 50 **ohmios**) se ha transmitido en la subestación y la señal se ha recibido en cada caja de luz considerada. La energía de la señal transmitida es -45 dB(W/Hz). La longitud de la ventana usada, es 10002, el número de muestras 1 MS y la tarifa de la muestra es 10 MS/s.

Las figuras 4-8 a la 4-10, muestran el espectro de energía del ruido y la señal recibida para los casos considerados. Las figuras no muestran gran variación en la **atenuación**, como en las bandas de frecuencia más alta. En su lugar, muestran que la función de la transferencia es algo plana y sin muchas muescas. Sin embargo, la función de transferencia en la banda de frecuencia, arriba de 100 kilociclos varía con la frecuencia y el SNR en esta región es también más bajo. Esto podría depender de la **impedancia** más baja en esta región, que limita la señal de entrada. También aquí mucha de la energía se pierde en el transmisor. La caja de luz 443, que está situada lo más cerca posible a la subestación, ha perdido cerca de 30dB a 60dB de la energía. Esto es más que la pérdida entre las cajas de luz 444 y 447 (la distancia entre estas dos es igual que la distancia entre

la 443 y la estación secundaria) y es probable que sea debido a las uniones mal hechas de la **impedancia** dentro de la subestación.

Las medidas también muestran que el canal de baja calidad en la caja de luz 447 tiene una **atenuación** más alta que las otras cajas de luz, lo que es lógico debido a la distancia más larga de la comunicación.

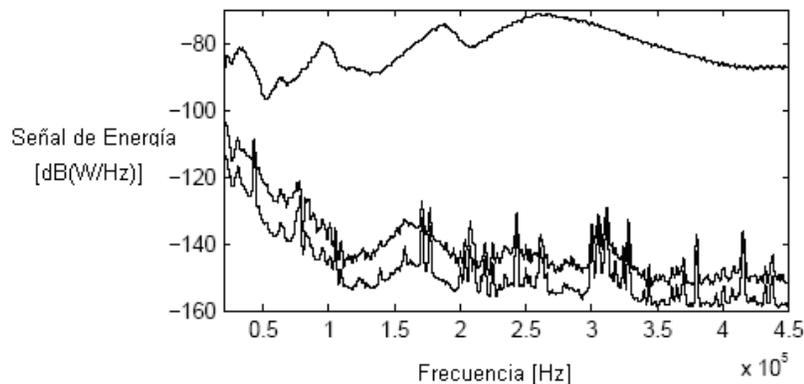


Figura 4-9. El espectro de energía de la señal recibida y el ruido en la caja de luz 443. El rastro superior demuestra la señal recibida, el rastro medio el ruido máximo y el rastro inferior el nivel de ruidos medio.

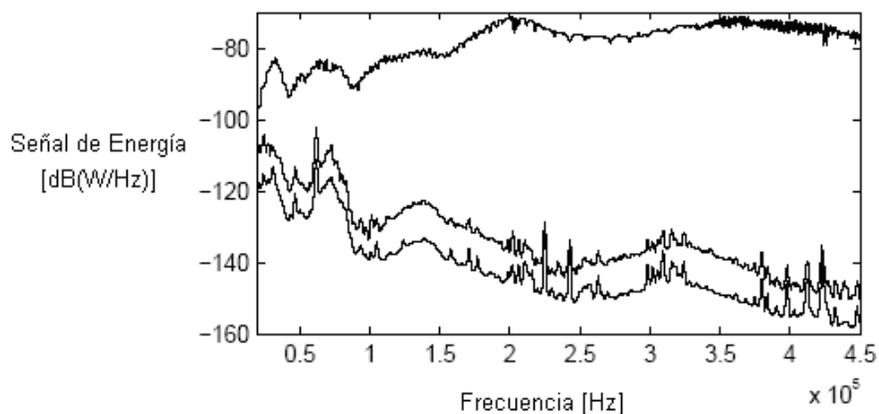


Figura 4-10 el espectro de energía de la señal recibida y el ruido en la caja de luz 444. El rastro superior demuestra la señal recibida, el rastro medio el ruido máximo y el rastro inferior el nivel de ruidos medio.

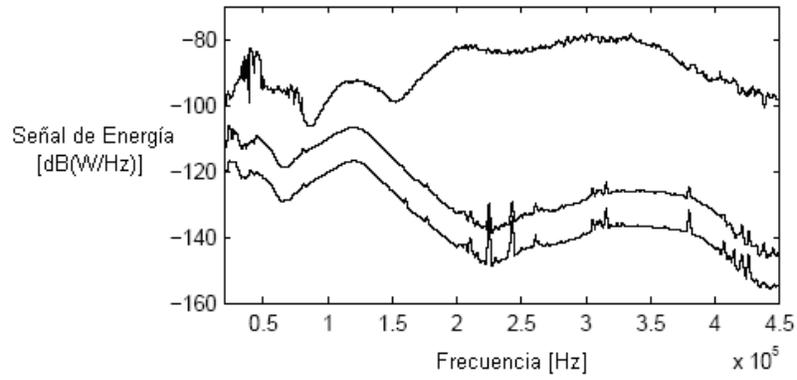


Figura 4-11 el espectro de energía de la señal recibida y el ruido en la caja de luz 447. El rastro superior demuestra la señal recibida, el rastro medio el ruido máximo y el rastro inferior el nivel de ruidos medio.

V. ESTRATEGIAS DEL RECEPTOR PARA EL CANAL DE COMUNICACIÓN POWER-LINE

El capítulo anterior muestra que el ruido del canal power-line no se puede describir como ruido blanco, como es el caso en muchos modelos de la comunicación. En este capítulo, estudiamos el efecto de este ruido No Blanco en las estructuras específicas del receptor.

Aunque las características de los canales de comunicaciones situados en diversas posiciones en el dominio de la frecuencia pueden ser absolutamente diferentes, muchos de los problemas básicos son iguales. La codificación y el esquema de la modulación tienen que ser elegidos de una manera tal que la energía recibida de la señal, con alta probabilidad, sea bastante grande, tal que el algoritmo de la decisión del receptor pueda combatir eficientemente las perturbaciones.

La solución técnica a este problema se convierte en una situación más difícil, mientras que el cociente entre el **índice binario** de la información y el ancho de banda de la comunicación aumenta.

V.1 Elevaciones y el modelo de sistema de comunicación

La figura 5-1 muestra un modelo del sistema de comunicación considerado en este capítulo.

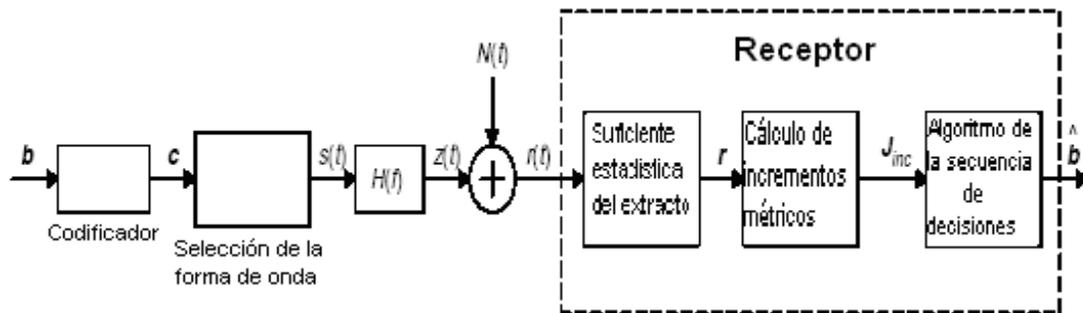


Figura 5-1 Modelo del sistema de comunicación.

En esta figura, b denota la secuencia de los bits de la información, teniendo un rango de R_b bit/s; c denota la secuencia de símbolos binarios cifrados, y se asume que el codificador hace salir un conjunto acoplado de símbolos binarios cifrados como respuesta a un conjunto acoplado de la entrada de los bits de la información. Por lo tanto, el índice del codificador es k/n . Como resultado del conjunto acoplado de bits cifrados (o de bloques de conjunto acoplado), se selecciona una forma de onda y se transmite a través del canal de comunicaciones. Si hay memoria en la unidad de la selección de formas de onda (señales moduladas fase continua), entonces la selección de formas de onda transmitidas es también una función de símbolos binarios previamente cifrados.

Hay varios aspectos que tienen que ser consideradas al diseñar el sistema de formas de onda que llevan la información. Un parámetro importante es el ancho de banda permitido para la comunicación, aquí denotado por W . Otros parámetros importantes son las características del canal, tiempo de la coherencia (el tiempo-variación de las características) y la función de transferencia. La tarifa que señala es $R_s = 1/T_s$, donde T_s denota el intervalo del tiempo entre las transmisiones sucesivas, y se relaciona de cerca con el ancho de banda de la comunicación, el **índice binario** de la información, la tarifa del codificador, y la opción del método de la modulación (fijando formas de onda).

En la figura 5-1, $H(f)$ modela el efecto combinado del acoplador y de filtrado de las unidades power-line (en el transmisor y el receptor). En este capítulo asumimos que $H(f)$ es de una frecuencia selectiva dentro del ancho de banda de la comunicación, pero inmóvil en el excedente del tiempo en varios intervalos de señal T_s . Además, asumimos que el transmisor no tiene conocimiento de $H(f)$, es decir, no se asume ningún mecanismo para las estimaciones del canal que entregan del receptor al transmisor. Por lo tanto, aquí se asume que el transmisor utiliza un sistema fijo de formas de onda. La señal $z(t)$ en la figura 5-1 es la parte del traslado de la información de la señal $r(t)$ de entrada al receptor.

La perturbación aditiva $N(t)$ en la figura 5-1 se asume como un proceso al azar gaussiano, no blanco, inmóvil (por lo menos dentro del tiempo de la coherencia del canal) con el espectro de energía $R_N(f) = \frac{N_0}{2} + P_{estrecho}(f)$ (de doble cara) donde $P_{estrecho}(f)$, representa los disturbios de banda estrecha dentro del ancho de banda W de la comunicación, y N_0 es la perturbación.

Para llegar a expresiones simples, asumimos que hay J perturbaciones de banda estrecha igualmente fuertes dentro del ancho de banda W de la comunicación, y que la energía en cada perturbación, denotada por $\frac{P_{nb}}{J}$, está distribuida igualmente sobre un intervalo de la frecuencia de la longitud D , (véase la figura 5-2, donde $J=5$).

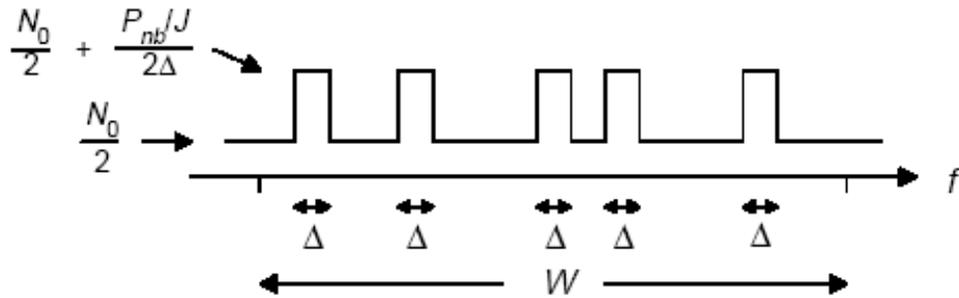


Figura 5-2. El espectro de energía, $R_N(f)$, de la perturbación.

Definimos el parámetro

$$x = \frac{P_{nb}/J}{2\Delta} \quad (5-1)$$

como medida de la fuerza de cada uno de los disturbios de banda estrecha.

La secuencia r en el receptor en la figura 5-1 contiene la suficiente estadística extraída del $r(t)$ recibido de la señal. Cada elemento en la secuencia r , $r = (\dots, r[n-1], r[n], r[n+1], \dots)$, es en general un vector, y un nuevo elemento es obtenido cada T_s segundos. Las operaciones implicadas para obtener r generalmente consisten en la desmodulación a la banda base, el banco de filtros emparejados, y el muestreo con el rango R_s .

Para cada elemento en r (o para un bloque de elementos) se fijan incrementos métricos, agrupados en el vector $J_{inc}[n]$, y se calcula su valor. La clase específica de medida usada por el algoritmo de decisión depende de varios factores, por ejemplo de la desmodulación coherente o incoherente, de decisiones ligeras o severas, de la cantidad de conocimiento del canal, nivel de la complejidad etc. En muchos casos, sin embargo, es preferible usar un algoritmo basado en la detección de la secuencia de la máxima probabilidad, puesto en ejecución con un acercamiento estado orientado como el algoritmo de Viterbi (es decir, la medida

acumulada es puesta al día recurrentemente por incrementos métricos). Después de que cierta decisión se retrase, la decisión del receptor estará disponible.

V.2 Un método de la modulación para el canal PLC.

Como hemos visto en capítulos anteriores, el canal power-line es un ambiente áspero. Las características del canal tienden a variar en el tiempo, la localización y con diversas cargas.

Una solución posible para superar los problemas con tal canal, es utilizar un método robusto de la modulación. Además, si el método de la modulación puede manejar la **atenuación** desconocida y los desplazamientos de fase desconocidos, entonces el receptor puede ser simplificado. El problema es combinar estos requisitos con el alto **índice binario** necesitado en las comunicaciones de hoy de la computadora y la limitación del ancho de banda en el canal power-line.

La intención con esta sección es presentar una modulación que pueda ser un candidato a utilizar en un sistema de comunicación para el canal power-line. Aquí, el foco está en las características de la probabilidad de error para el sistema considerado de señales que llevan la información sin codificar, cuando ésta se detecta como no-coherente. En un sistema práctico (cifrado) estas señales se podrían combinar con una estructura elegida del codificador y un intervalo de estructura.

La figura 5-3, muestra un modelo del sistema de comunicación considerado en este capítulo. El transmisor emite una señal, $s(t)$, en el canal, que se modela como filtro lineal de variaciones de tiempo $H(f,t)$. El ruido en el receptor, $N(t)$, se modela como AWGN (ruido blanco gaussiano aditivo).

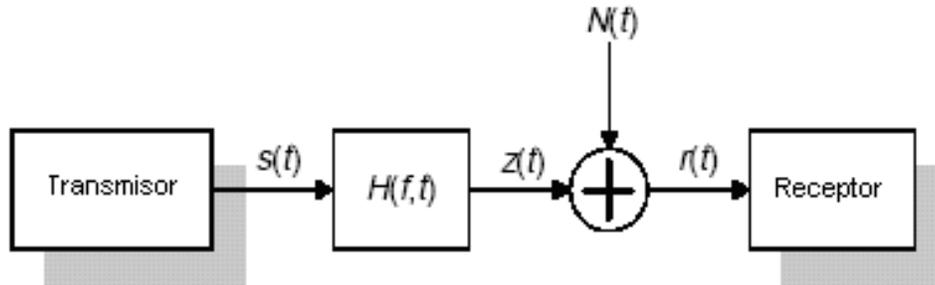


Figura 5-3. Modelo de un sistema de comunicación.

La secuencia de los bits de la información tiene **índice binario** de $R_b \frac{b}{s}$ y el número de señales alternativas (también símbolos), son denotados por M , así el símbolo del rango es $\frac{R_b}{\log_2 M} \frac{b}{s}$. El ancho de banda del sistema es denotado por W y se asume que la **atenuación** en esta región es constante. W se puede interpretar como, un solo sub canal en un tipo OFDM de arreglo. También se asume que la **atenuación** y el desplazamiento de fase del canal son desconocidos. Otros parámetros importantes son el tiempo del símbolo $T_s = \frac{1}{R_s}$ y el tiempo de bit $T_b = \frac{1}{R_b}$, que define el tiempo necesario para transmitir un símbolo y un bit respectivamente.

V.3. La entrada en México.

Finalmente para cerrar este trabajo, se expone un ejemplo claro de lo que se ha realizado en México para poder incursionar con esta tecnología en el mercado.

Desde 2002 la Comisión Federal de Electricidad (C. F. E.), ha llevado acabo investigaciones documentales; así mismo ha puesto en práctica diversas demostraciones en las líneas de baja tensión con la tecnología ASCOM en Mérida, Yucatán. En estas demostraciones se probaron con éxito los 2 estándares

mundiales con mayor aceptación: DS2 y Homeplug. Se realizaron conexiones al medio de enlace de fibra óptica, satélite y microondas.

Para el 2003 la demostración se llevo a cabo en Monterrey, Nuevo León; en las líneas de media y baja tensión con la tecnología DS2. En esta demostración se lograron servicios de transmisión de datos con velocidades equivalentes a las logradas en otros países.

Ya en 2004 se llevaron a cabo proyectos en campo con tecnología DS2 en Jocotitlan, Estado de México. En este año la calidad de los servicios de voz era equivalente y hasta competitiva con tecnologías explotadas comercialmente.

Entre 2004 y 2006 se llevaron a cabo varios proyectos en México:

- Proyecto Morelia, Michoacán con tecnología DS2.
- Proyecto Monterrey, Nuevo León, con tecnología DS2.
- Proyecto Irapuato, Guanajuato, con tecnología Homeplug.
- Proyecto Monterrey, Nuevo León, con tecnología Homeplug.
- Proyecto Zongolica.

Lo anterior dio pie al acceso a Internet de banda ancha y voz sobre protocolo IP en edificios gubernamentales, casas particulares y PyMES (Pequeñas y Medianas Empresas).

Del 2007, a enero de 2008 (última actualización de información consultada) se lleva a cabo un proyecto de aplicaciones eléctricas y aplicaciones de telecomunicaciones, con el fin de poder extender los servicios de la red eléctrica a nivel nacional.

El siguiente mapa ilustra el trabajo realizado por CFE al cabo de los años 2002 a 2008.

Proyectos PLC Desarrollados por la CFE



Seguramente la meta de CFE es poder ser un competidor a nivel nacional de otros proveedores de este servicio, invadiendo poco a poco, pero firme el territorio nacional.

CONCLUSIÓN.

Este trabajo es sobre la comunicación por medio de líneas de energía existentes. La ventaja principal de esta clase de sistema de comunicación es la infraestructura existente, que simplifica su puesta en práctica. Comenzamos, después de una introducción general a la comunicación sobre líneas de energía, haciendo algunas medidas de características básicas, para entender el comportamiento de la red eléctrica como canal de comunicaciones.

Observando este sistema ha sido posible extraer la información de las características que afectan la comunicación sobre el canal de energía. Éstas son diversas: ventanas de tiempo, la localización en la rejilla, y el perfil de la carga. Para estudiar más a fondo el efecto de las cargas, se indagó sobre el uso de una carga especialmente diseñada que consistía en un sistema de máquinas industriales; se utilizó esta carga en la misma rejilla y finalmente se observó cómo esta debilitación afecta los canales de comunicación. Se muestra que los canales cerca de la carga sufren una degradación severa en su funcionamiento. Las medidas muestran la **atenuación** del canal y del nivel de ruidos en el receptor. Vemos que el nivel de ruido no es Blanco y decae con la frecuencia. En el receptor, el ruido no es Blanco y el efecto de este ruido en diversas estructuras del receptor es ideal, pero en otros es casi óptimo; así que podemos decir que un receptor que no contraría las perturbaciones de banda estrecha experimenta una disminución severa de su funcionamiento.

Evidentemente la funcionalidad de esta nueva tecnología requiere de cierto entorno; pero definitivamente es una alternativa para lugares donde no se cuenta con líneas telefónicas; esto en el caso de que la compañía proveedora de energía eléctrica cuente con el servicio de comunicaciones sobre red eléctrica; pues de ser así las ventajas son varias, ya que no es necesario ningún tipo de obra para poder disfrutar esta tecnología de banda ancha y se puede transmitir voz y datos, únicamente con conectar un módem con tecnología PLC, lo cual hace que la

instalación sea muy sencilla por parte del cliente, el servicio es permanente y alcanza velocidades de 135 Mbps y pronto llegara a 200 Mbps, lo cual mejorará la distribución de voz y video de manera rápida y confiable, lo que a su vez permitirá implementar videoconferencias en línea.

Actualmente en México esta tecnología no se puede implementar directamente; ya que el proveedor de energía eléctrica no cuenta con el servicio. Pero para ello se puede utilizar un equipo Ethernet PLC, el cual se conecta con un equipo proveedor de Internet de banda ancha (**ADSL**). Sigue proporcionándonos muchas ventajas, pero en lugares donde no llega la red de telefonía no es posible valernos de este servicio, aunque se cuente con la red eléctrica.

Con lo anterior podemos observar que se pueden desprender muchas líneas de investigación, que pueden ser estudiadas por alumnos y egresados de la carrera de Matemáticas Aplicadas y Computación; pues podemos partir del análisis del comportamiento de la energía eléctrica, pronósticos de funcionalidad, análisis estadístico de funcionamiento y fallas, programación de la red para detectar fallas eléctricas y su reparación vía remota; análisis de mercado para cubrir las demandas de los consumidores no satisfechos con el servicio que actualmente tienen contratado; etc. La tecnología PLC es un campo poco explorado en nuestro país, lo que nos da una gama extensa de ramas para su indagación y estudio.

La conclusión general de este trabajo; es que las comunicaciones vía red eléctrica, son una alternativa funcional e innovadora.

GLOSARIO

Atenuación. Pérdida de **potencia** sufrida por la misma al transitar por cualquier **medio de transmisión**.

Culombio. Unidad de Carga eléctrica que corresponde a la carga que un amperio transporta cada segundo.

DSL: Es un conjunto de normas para la conectividad de red de banda ancha sobre líneas telefónicas normales.

Hertzios: Unidad de medida para la frecuencia que mide el número de oscilaciones por segundo de una onda.

Impedancia eléctrica: Mide la oposición de un circuito o de un componente eléctrico al paso de una corriente eléctrica alterna **sinusoidal**. El concepto de impedancia generaliza la ley de Ohm en el estudio de circuitos en corriente alterna (AC).

Índice Binario: Índice de Bits que se transmiten por segundo.

Ohmio: Unidad de resistencia eléctrica en el Sistema Internacional de Unidades. Se representa con la letra griega Ω .

Sinusoidal: Se trata de una señal análoga, puesto que sus valores oscilan en una rama de opciones prácticamente infinita

Voltio. Unidad de potencial eléctrico y de fuerza electromotriz en el sistema internacional que equivale a la diferencia de potencial que hay entre dos puntos de un campo eléctrico cuando al transportar entre ellos un culombio de carga se realiza un trabajo equivalente a un julio.

Tabla de equivalencias

| | | |
|---------------------|---|----------------------|
| 1 Amperio | = | 1 Voltio / 1 Ohmio |
| 1 Voltio | = | 1 Amperio * 1 Ohmio |
| 1 Ohmio | = | 1 Voltio / 1 Amperio |
| 1 KILOVOLTIO | = | 10^3 Voltios |
| 1 MILIVOLTIO | = | 10^{-3} Voltios |
| 1 V | = | 0.001 KV = 1.000 mV |
| 1 KILOOHMIO | = | 10^3 Ohmios |
| 1 MEGAOHMIO | = | 10^6 Ohmios |
| 1 OHMIO | = | 0.001 K = 0.000001 M |

BIBLIOGRAFÍA

SELANDER LARS, *Power Line Communications*, Tesis presentada en el seminario Communications Systems for the Low-voltage Grid. Copenhagen, Denmark, 2001.

PALACIOS JULIA, *White paper on power line communications (PLC) 2004*, Consultora Arthur D. Little, Madrid, España, 2004.

GONZÁLEZ OCHOA ALEMAN OCTAVIO, *Presentación Ejecutiva para Inversionistas PLC*, ST Technologies, 2005.

VEÀ BARÓ ANDREU, *Historia, Sociedad, Tecnología y Crecimiento de la Red. Parte V Evolución de la Tecnología de acceso a Internet*, tesis doctoral, Universidad Ramón Llull, 2002.

http://www.tdx.cesca.es/TESIS_URL/AVAILABLE/TDX-1104104-101718//Tavb09de23.pdf

LÓPEZ CARLOS ENRIQUE, *CFE presenta proyecto en México*, (en línea), 2003.
<http://www.alambre.info/2003/11/03/internet-por-el-cable-de-la-luz/>

Electricidad Doméstica, (en línea), 2007.

http://es.wikipedia.org/wiki/Electricidad_dom%C3%A9stica

DÍAZ PERRAULT A. MARCELO, *Tecnología PLC: Internet a través de la red eléctrica*, (en línea), 2002. http://www.aat-ar.org/Revista_art.asp?iid=69

ROMERO PABLO, *Internet por la red eléctrica. Los enchufes tienen mucho que decir*, (en línea), 2003.

<http://www.elmundo.es/navegante/2003/10/17/esociedad/1066394563.html>

CHIRINOV ROUMEN, *Internet por red eléctrica. (PLC)*, (en línea), 2003.

<http://www.noticias3d.com/articulo.asp?idarticulo=261&pag=12>

LEGIDO MARCOS, *La tecnología PLC llegará pronto a nuestros hogares*, (en línea), 2003.

<http://diariored.com/blog/000535.php>