



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGON

**"PROTECCIONES EN LA RED ELÉCTRICA PARA SERVICIOS DE
BANDA ANCHA".**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A :

BARRETO BANDIN LUIS JONATHAN.

ASESOR: ING. BENITO BARRANCO CASTELLANOS



Estado de México

Abril 2010.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

Indice	I
Introducción	II
Capítulo 1. Banda lateral única en sistemas de protección para alta, media y baja tensión.	1
1.1 Multicanalización por división de frecuencia y de tiempo.	1
1.2 Modulación en amplitud: sistemas de portadora suprimida (AM-PS).	3
1.3 Modulación en amplitud con portadora de alta potencia (AM).	20
1.4 Transmisión de banda lateral única.	29
1.5 Efectos de los errores de frecuencia y fase en la detección sincrona.	38
Capítulo 2. Parámetros de la red eléctrica y equipos de monitoreo.	42
2.1 Descripción general sobre la Red PLC.	42
2.2 Sistema de telemedición usados por PLCs.	43
2.3 Componentes de la Red PLC.	44
2.4 Redes de distribución de energía.	46
2.5 Deterioro de la señal PLC.	52
2.6 Métodos de Acoplamiento de la señal.	54
2.7 Normas regulatorias para PLC de Banda Angosta.	57
2.8 Equipos de la red de comunicaciones.	59
Capítulo 3. Servicios de banda ancha por líneas de potencia para usuario final.	62
3.1 PLC v/s Cable Modem.	62
3.2 Internet Vía Cable Módem.	63
3.3 Funcionamiento del Módem.	63
3.4 Limitaciones del Cable Módem:	64
3.5 Tipos de Módem.	65
3.6 Métodos de Transmisión del Módem.	67
3.7 Diferencias de ADSL y PLC.	69
3.8 Cobre.	69
3.9 Cable Módem.	71
3.10 PLC y su mercado.	74
3.11 Mercado Consumidor.	75
3.12 PLC en otras partes del mundo.	76
3.13 Situación Actual de Internet en España.	77
3.14 Organizaciones y grupos de trabajo del PLC a nivel Mundial.	82
3.15 Algunos proyectos hechos en otras partes del mundo.	85
3.16 Empresas que hacen Chipset3.	85
3.17 Regulaciones del PLC.	86
3.18 Problemas del PLC con radioaficionados.	87
3.19 Principales órganos del Estado que participan en la regulación del sector.	89
3.20 Aplicación e Implementación del PLC.	92
3.21 Teorías sobre la implementación del PLC.	94
3.22 Mayores comodidades para la comunidad en un futuro cercano.	95
3.23 Ensayos.	96
Conclusiones	100
Bibliografía	103
Glosario	104

INTRODUCCIÓN

El propósito de este proyecto la implementación de una red de comunicaciones para servicios de banda ancha por líneas de potencia para usuario final.

Otro objetivo que nos proponemos es el aprendizaje de las tecnologías existentes de comunicación tales como:

- Tecnología PLC

Seguidamente profundizaremos en el conocimiento de los equipos que usan dichas tecnologías. Para la realización del proyecto se tendrán que tener en cuenta parámetros de la red, como pueden ser la reducción de costos, futuras ampliaciones, etc.

Las iniciales se refieren a las palabras inglesas Power Line Communications o Power Line Carrier. En español esto significa, Comunicaciones a través de la Red de Energía o bien Transmisión por Onda Portadora de Corriente. Se trata, fundamentalmente, de la transmisión de voz y datos a través de la Red eléctrica. El objetivo más atrayente de esta tecnología es tratar de aprovechar la ubicuidad de la mayor red construida por el hombre (más de 3.000 millones de personas cuentan con energía eléctrica en todo el mundo) llamada red de redes. De esta manera, las compañías eléctricas incrementaran su rentabilidad, al aumentar el valor agregado de sus servicios con una mínima inversión, aprovechando su infraestructura para fines que no habían sido concebidos inicialmente. Es algo similar a lo ocurrido con las empresas telefónicas cuando comprendieron que el par de cobre se podía emplear para acceder a Internet y ofrecer otros servicios de transmisión de datos, además de permitir las comunicaciones por voz.

En la actualidad, PLC se ha desarrollado ampliamente, existiendo básicamente aplicaciones "Indoor" y de "ultima milla" existiendo normas y estandares para estas aplicaciones. A su vez, las empresas eléctricas, a través de esta tecnología, han ingresado como proveedores de servicios de telecomunicaciones, sin embargo, su interés sigue siendo también los servicios específicos dentro de la misma Red eléctrica; como el monitoreo y control en media y baja tensión.

Subestaciones Eléctricas

La subestación es un elemento importante dentro del sistema eléctrico de potencia. Su función es la de reducir la tensión de transporte a la tensión de distribución.



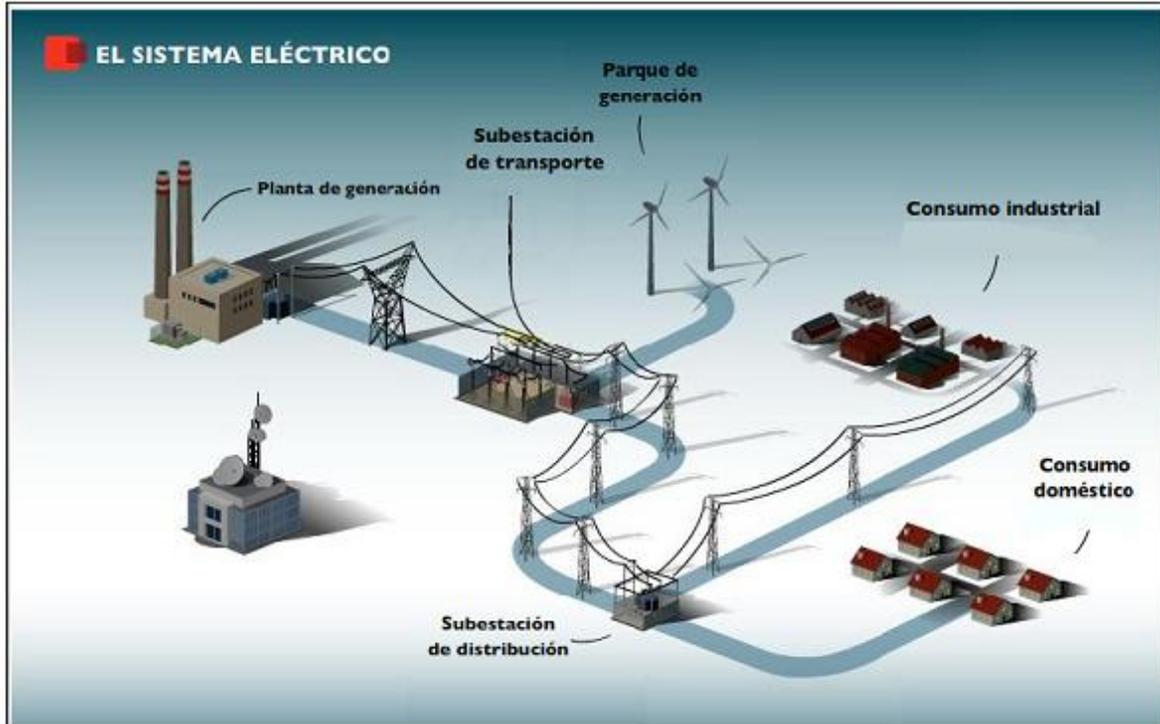


Fig.1. Sistema Eléctrico de Potencia

Los elementos más importantes que componen una subestación eléctrica son: transformador, seccionadores, interruptores de potencia, trampas de onda.

Protección en la red eléctrica

Un elemento muy importante dentro de un sistema eléctrico es su protección. Para ellos existen equipos de protección cuya función es detectar rápida, segura y eficazmente posibles fallos en la línea eléctrica. También las protecciones y equipos asociados deben proporcionar información acerca de la localización y del tipo de falla que se produce en la red y enviar señales de monitoreo hacia un centro de control.

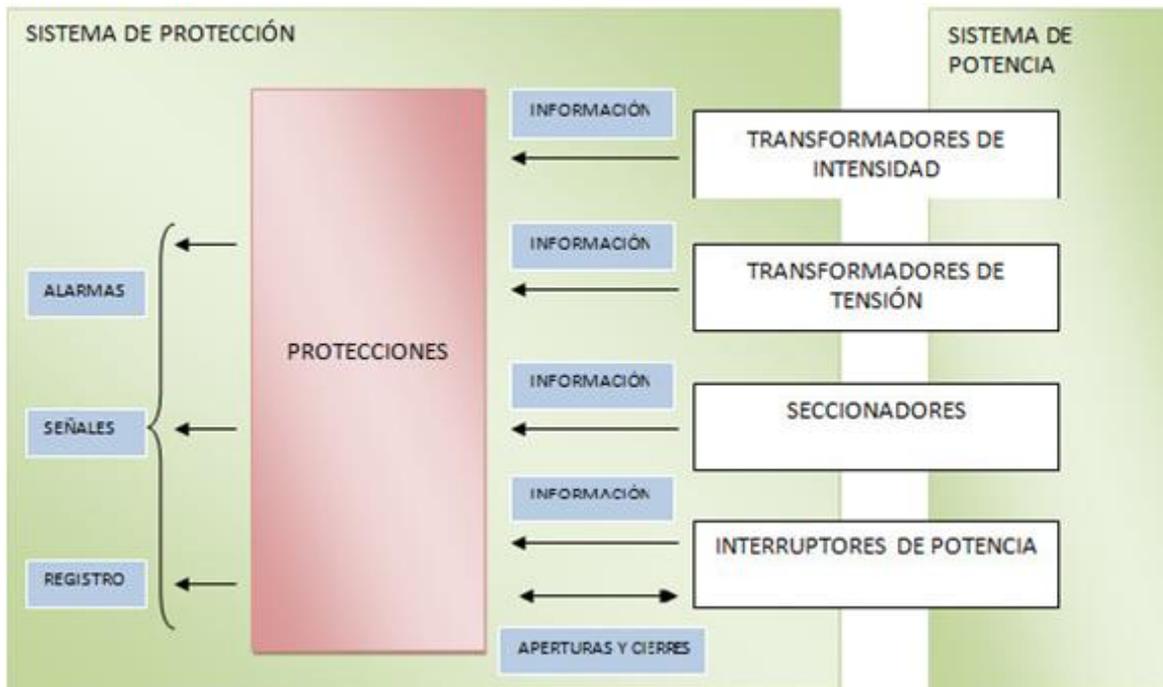


Fig.2. Diagrama del Sistema de Protección

Tecnologías de comunicación entre subestaciones eléctricas Las principales tecnologías usadas en sistemas de comunicación de redes eléctricas son:

- **PDH (Jerarquía Digital Plesiocrona):** tecnología digital basada en la multiplexación por división de tiempo (TDM). El estándar europeo define el primer nivel de multiplexado como una trama de 2Mbps (E1), la cual incluye 32 canales de 64Kbps, que pueden contener voz y datos.
- **SDH (Jerarquía Digital Sincrona):** es la evolución de la tecnología PDH. Contiene más niveles de multiplexado gracias a la utilización de contenedores virtuales y punteros para el sincronismo de la trama. Puede transmitir desde tramas de 155Mbps (STM-1) hasta 2,48Gbps (STM-16). Permite hacer una gestión del tráfico de una manera más fiable que con el PDH. Debido a sus altas velocidad se utiliza la fibra óptica como medio de transmisión.

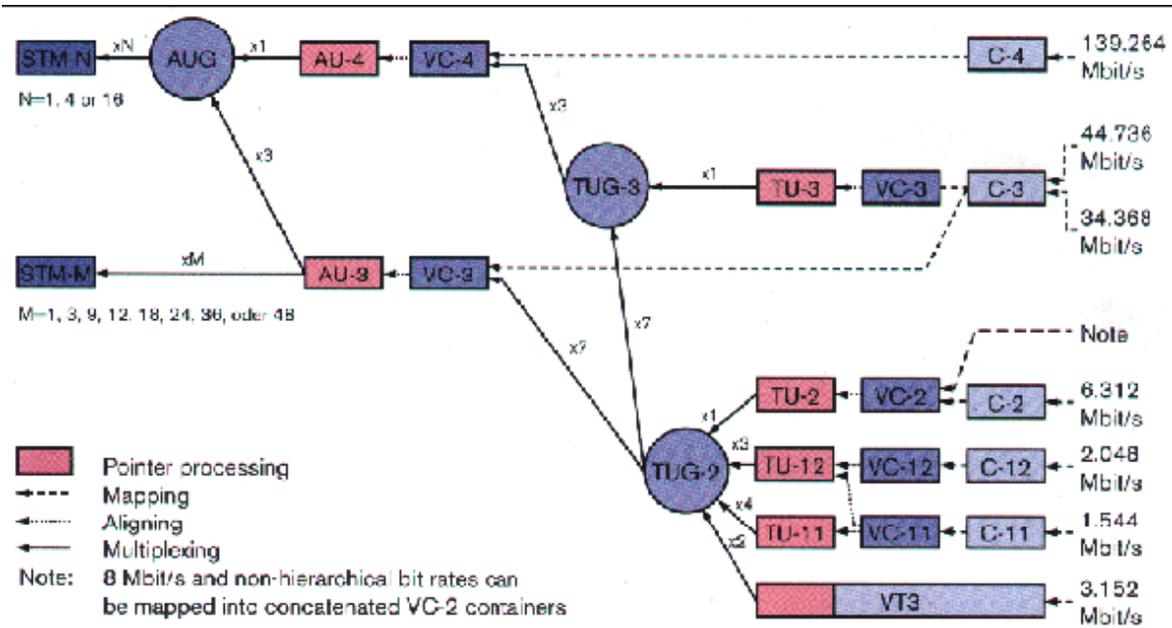


Fig. 3 Configuración SDH

- **Sistema de Tele protección:** sistema de comunicación que contiene datos de la protección de la línea.
- **Sistema de Onda Portadora:** esta tecnología está basada en el uso de las líneas de alta tensión como medio de transmisión. Este tipo de tecnología es menos fiable que los sistemas por fibra óptica. Por el contrario su implementación resulta menos costosa.

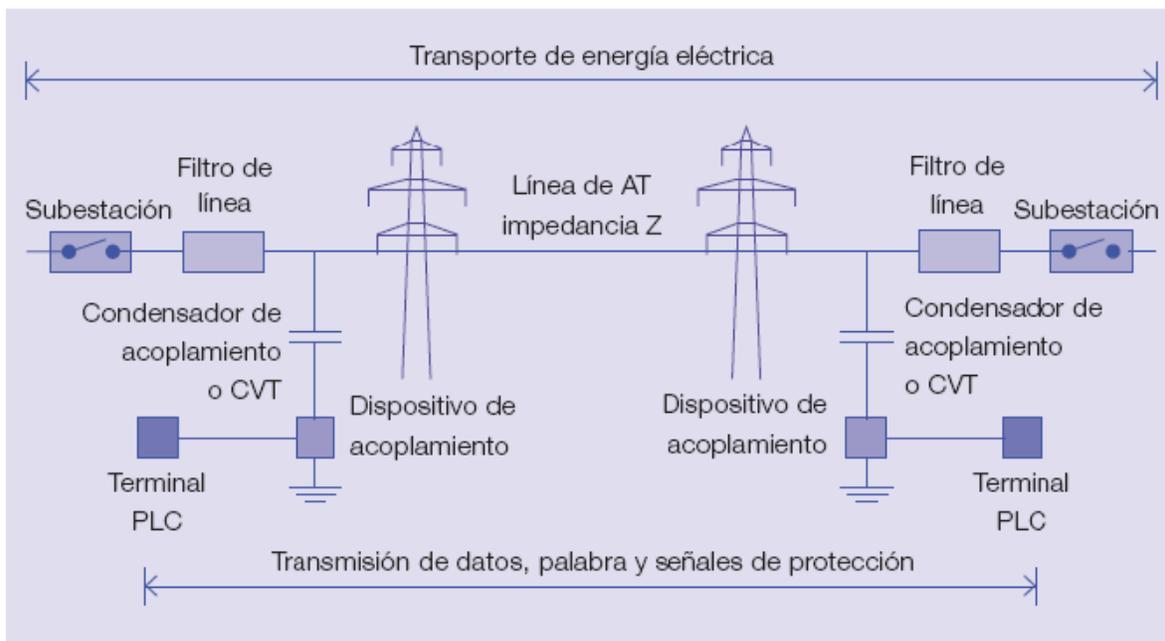


Fig.4. Sistema de Onda Portadora



CAPÍTULO 1 BANDA LATERAL ÚNICA EN SISTEMAS DE PROTECCIÓN PARA ALTA, MEDIA Y BAJA TENSIÓN.

La ingeniería de comunicaciones se dedica a estudiar la transmisión de señales de un punto a otro. Este problema se presenta en las emisiones de radio y televisión, la comunicación a larga distancia en líneas telefónicas, las comunicaciones por satélite, los sistemas de control remoto, la tele medición, etc. En este capítulo, estudiaremos algunos sistemas de comunicación.

Las señales se transmiten, de un punto a otro por un canal que puede tener la forma de línea de transmisión (como un canal telefónico) o simplemente por el espacio abierto, en el cual se reciben las señales portadoras de la información deseada (como la difusión de radio y televisión, la comunicación por satélite, etc.). En general, cada una de las señales transmitidas tiene ancho de banda finita y pequeña, comparado con el ancho de banda del canal mismo. Por lo tanto, si solo se transmite una señal por canal, este no se aprovecha adecuadamente, pues se le hace funcionar muy por debajo de su capacidad de transmitir información; sin embargo, no podemos transmitir directamente más de una señal a la vez, porque esto causara interferencia entre las señales y estas no las podremos recuperar individualmente en el extremo receptor. Eso significa que no es posible, mediante un método directo, transmitir más de una conversación en una línea telefónica ni explotar simultáneamente, más de una estación de radio o de televisión. Se verá que, empleando las técnicas de multicanalización por división de frecuencia o de tiempo, se pueden transmitir varias señales simultáneamente en un mismo canal.

1.1 Multicanalización por división de frecuencia y de tiempo

Como se mencionó anteriormente, la transmisión de una sola señal por un canal es una situación de mal aprovechamiento. Sin embargo, esto se mejorara si logramos trasladar los espectros de las diferentes señales para que ocupen rangos diferentes de frecuencia sin traslaparse (traslación de frecuencia), que si modulamos una señal (al multiplicar por una señal sinusoidal) se traslada su espectro de frecuencia. En consecuencia, empleando las técnicas de la modulación, se puede transmitir simultáneamente por un canal un gran número de señales.

En el caso de varias señales, se traslada el espectro de cada una en una cantidad adecuada, para evitar el traslapamiento de los diferentes espectros. En el extremo receptor, se separan las diferentes señales mediante filtros apropiados; sin embargo, los espectros individuales así separados, no representan la serial original ya que han sufrido una traslación. Así, para obtener la señal original, se debe trasladar cada espectro en la cantidad adecuada, de modo que recupere su forma original.

La modulación cumple con otro importante propósito en los sistemas que transmiten señales por radiación en el espacio. En la teoría de las ondas electromagnéticas se demuestra que solo se puede radiar una señal en forma efectiva si la antena radiadora es del orden de un decimo o más de la longitud de onda correspondiente a las frecuencias de las señales radiadas. En la voz humana, la frecuencia máxima es de aproximadamente 10,000 Hz., lo cual corresponde a una longitud de onda mínima de 30,000 metros. Así, para radiar ondas electromagnéticas que correspondan al rango de frecuencia de la voz humana, se necesitaría una antena de varios kilómetros de longitud; esto, desde luego, no es nada práctico. El proceso de modulación traslada el espectro de frecuencia a cualquier rango de frecuencia superior que resulte conveniente, haciendo más fácil radiarlo mediante ondas electromagnéticas. En la práctica, todas las señales de radio y de televisión están moduladas, es decir, el espectro de frecuencia está trasladado a un rango más alto. Por consiguiente, la modulación no solamente permite la transmisión simultánea de varias señales sin interferencia entre ellas, sino que también hace posible su transmisión (radiación) efectiva.

El método de traslación de frecuencia que hemos mencionado no es la única forma de transmitir simultáneamente varias señales en un canal. Se ha demostrado que una señal limitada en banda (que no contenga componentes espectrales superiores a una frecuencia f_m Hz) queda especificada en forma única por sus valores a intervalos de $1/(2f_m)$ segundos (teorema de muestreo uniforme). Se demostró que se puede reconstruir la señal completa a partir solamente del conocimiento de sus valores en estos instantes. Por consiguiente, solo se tienen que transmitir las muestras de la señal en este número finito de instantes. Así, el canal no queda ocupado más que en esos instantes y no se envían señales durante el resto del tiempo. Entonces, se pueden intercalar las muestras de varias señales en el canal. En el extremo receptor, las muestras se separan mediante un detector síncrono adecuado.

Por lo tanto, es posible transmitir varias señales simultáneamente por un canal, siempre que se les pueda separar en el extremo receptor. Cada señal queda especificada en el dominio del tiempo o el dominio de la frecuencia. Así, en el receptor, recuperamos individualmente las señales, ya sea en el dominio del tiempo o de la frecuencia. En el método de la traslación de frecuencia, todas las señales se mezclan en el dominio del tiempo, pero sus espectros están separados de manera que ocupan diferentes bandas de frecuencia. Se recuperan las señales en el receptor empleando filtros adecuados.

Obsérvese que se recuperan los espectros de las señales individuales, por lo que este método de separación se lleva a cabo en el dominio de la frecuencia. Este procedimiento, en el que las diferentes señales comparten diferentes intervalos de frecuencia, se conoce como sistema de multicanalización por división de frecuencia. En el segundo método, se intercalan las muestras de las diferentes señales y estas se separan individualmente en el extremo receptor mediante el detector síncrono adecuado. En este caso, recuperamos las diferentes señales en

el dominio del tiempo; los espectros de frecuencia de todas las señales muestreadas están mezclados ocupando el mismo rango de frecuencia. Este sistema, en el que todas las señales comparten diferentes intervalos de tiempo se conoce como sistema de multicanalización por división de tiempo. A continuación, estudiaremos varios tipos de sistemas de comunicación que emplean las técnicas de multicanalización mencionadas.

1.2 Modulación en amplitud: sistemas de portadora suprimida (AM-PS)

En esencia, en esta técnica se traslada el espectro de frecuencia de la señal que se va a transmitir, al multiplicarlo por una señal sinusoidal cuya frecuencia corresponde a la traslación requerida. Por el teorema de la modulación (ecuación 1.1) es evidente que el espectro de $f(t) \cos \omega_{ct}$ es el mismo que el de $f(t)$, pero trasladado en $\pm \omega_c$ radianes por segundo (figura 1.1e); es decir, si

$$f(t) \longleftrightarrow F(\omega)$$

Entonces

$$f(t) \cos \omega_{ct} \longleftrightarrow \frac{1}{2} [F(\omega + \omega_c) + F(\omega - \omega_c)] \quad (1.1)$$

A la señal $\cos \omega_{ct}$ se le llama portadora. La multiplicación de $\cos \omega_{ct}$ por $f(t)$ equivale a variar la amplitud de la portadora en proporción a $f(t)$. Se dice que la señal portadora $\cos \omega_{ct}$ esta modulada por la señal modulante $f(t)$. Este modo de transmisión se conoce como modulación en amplitud con portadora suprimida (AM-PS), debido a que la señal modulada $f(t) \cos \omega_{ct}$ no contiene señal portadora adicional; dicha portadora queda suprimida. Posteriormente estudiaremos la modulación en amplitud con portadora libre adicional, en donde la señal modulada es $f(t) \cos \omega_{ct} + A \cos \omega_{ct}$. En este caso se transmite la portadora adicional por tener algunas ventajas que se estudiarán después. A tales sistemas se les llama simplemente sistemas de amplitud modulada (AM).

Por lo tanto, la modulación en amplitud (AM-PS) traslada el espectro de frecuencia en $\pm \omega_c$ radianes por segundo, como se ve en la ecuación 1.1. Para recuperar la señal original $f(t)$ a partir de la señal modulada, es necesario retrasladar el espectro a su posición original; a ese proceso de traslación se le conoce como demodulación o detección.

El espectro de la forma de onda modulada (figura 1.1e) se vuelve a trasladar convenientemente a la posición original al multiplicar la señal modulada por $\cos \omega_{ct}$ en el extremo receptor. Puesto que la multiplicación en el dominio del tiempo equivale a la convolucion de espectros en el dominio de la frecuencia, es evidente que obtendremos el espectro de la señal resultante $f(t) \cos^2 \omega_{ct}$ mediante la convolucion del espectro de la señal recibida (figura 1.1e) con el espectro de $\cos \omega_{ct}$ (dos impulsos en $\pm \omega_c$). Obsérvese que esta convolucion produce el espectro mostrado en la figura 1.1g. Este resultado también es consecuencia directa de la identidad

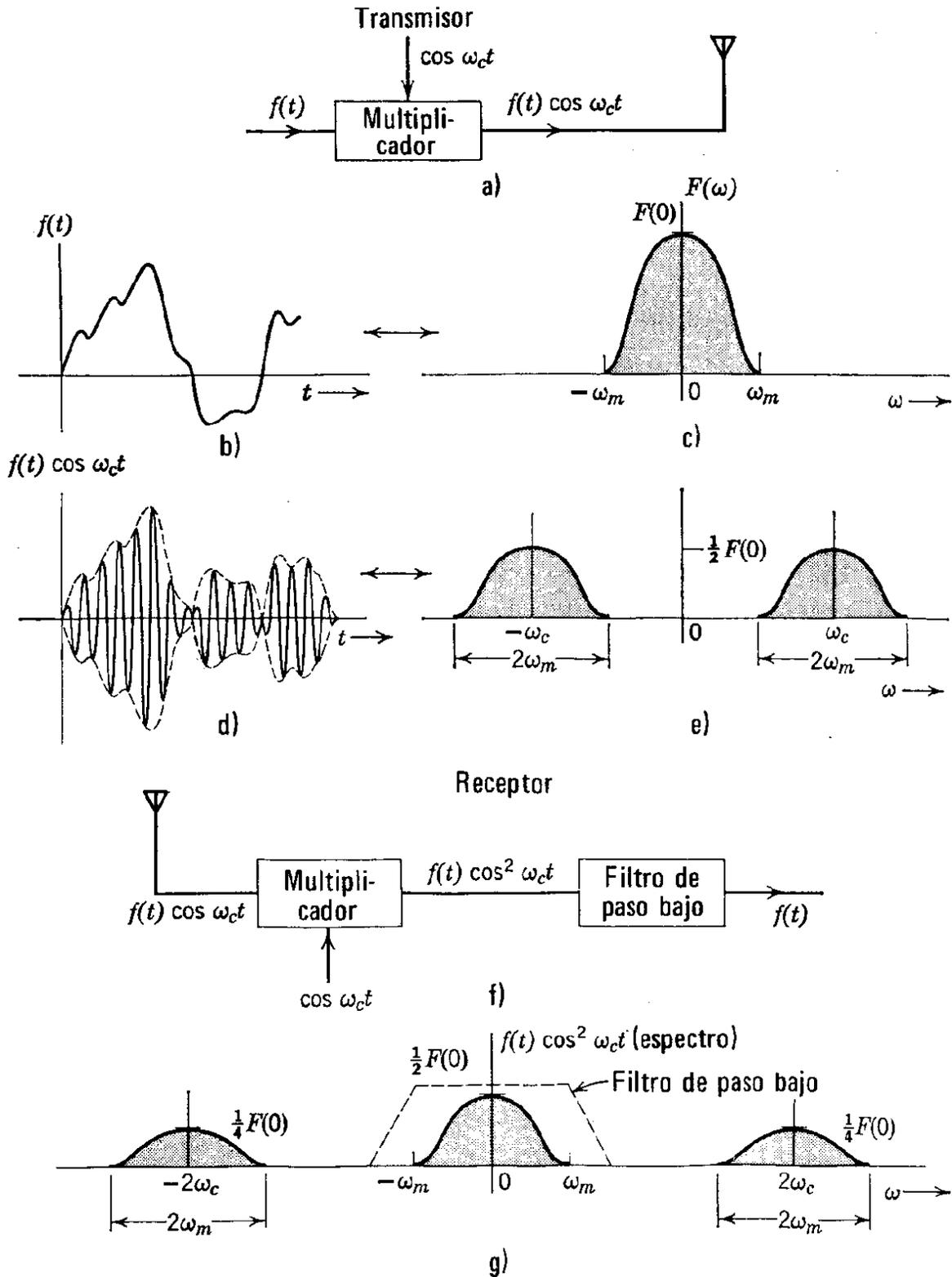


Figura 1.1

$$f(t) \cos 2 \omega_c t = \left[\frac{1}{2} f(t) (1 + \cos 2 \omega_c t) + \frac{1}{2} f(t) \cos 2 \omega_c t \right] \quad (1.2)$$

Por lo tanto, si

$$f(t) \longleftrightarrow F(\omega)$$

Entonces

$$f(t) \cos^2 \omega_c t \longleftrightarrow \frac{1}{2} F(\omega) + \frac{1}{4} [F(\omega + 2\omega_c) + F(\omega - 2\omega_c)] \quad (1.3)$$

Es evidente que, a partir del espectro de la figura 1.1g, se puede recuperar la señal original $f(t)$ por medio de un filtro de paso bajo, el cual permitirá el paso de $F(\omega)$ y atenuará las componentes restantes centradas en $\pm 2\omega_c$.

Una forma posible de la característica del filtro de paso bajo se ilustra (línea punteada) en la figura 1.1g. El sistema que se requiere en el extremo receptor para recobrar la señal $f(t)$ a partir de la señal modulada recibida $f(t) \cos \omega_c t$ se muestra en la figura 1.1f. Es interesante observar que la multiplicación de $f(t)$ por $\cos \omega_c t$ traslada su espectro en $\pm \omega_c$. El nuevo espectro puede volver a su posición original mediante otra traslación de $\pm \omega_c$, que se lleva a cabo mediante la multiplicación de la señal modulada por $\cos \omega_c t$ en el receptor (en el proceso, se obtiene un espectro adicional centrado en $\pm 2\omega_c$, que se elimina). Por lo tanto, el proceso en el receptor es exactamente el mismo que el del transmisor. En consecuencia, este método de recobrar la señal original se llama detección síncrona o detección coherente.

De acuerdo con lo anterior, vemos claramente que, en este sistema, se necesita generar localmente la portadora en el receptor. La frecuencia y la fase de esta portadora son cuestiones extremadamente críticas. Supongamos, por ejemplo, que la portadora local tiene un pequeño error de frecuencia, $\Delta\omega$. La señal que se recibe es $f(t) \cos \omega_c t$ y la portadora local es $\cos(\omega_c + \Delta\omega)t$. El producto está dado por

$$f(t) \cos \omega_c t \cos(\omega_c + \Delta\omega)t = \frac{1}{2} f(t) [\cos(\Delta\omega)t + \cos(2\omega_c + \Delta\omega)t] \quad (1.4)$$

El término $f(t) \cos(2\omega_c + \Delta\omega)t$ representa el espectro de $f(t)$ centrado en $\pm(2\omega_c + \Delta\omega)$ y se le puede eliminar mediante un filtro de paso bajo. La salida de este filtro producirá el término restante $\frac{1}{2} f(t) \cos(\Delta\omega)t$ de la ecuación 1.4. Así, en lugar de recobrar la señal original $f(t)$, obtenemos la señal $f(t) \cos(\Delta\omega)t$. En general, $\Delta\omega \rightarrow 0$ y $f(t) \cos(\Delta\omega)t$ representa $f(t)$ multiplicada por un factor que varía ligeramente. Esto, evidentemente, constituye un tipo muy poco conveniente de distorsión. Por lo tanto, es de suma importancia tener frecuencias portadoras idénticas en el transmisor y en el receptor. La fase del oscilador local también es crítica.

Para lograr la precisión de la frecuencia y el control de la fase del oscilador local, en el receptor debe haber circuitos muy costosos y complicados. En la mayoría de esos sistemas, se transmite una cantidad muy pequeña de portadora adicional (portadora-piloto) con la señal modulada. En el receptor, la portadora-piloto se separa mediante un filtro, se amplifica y se emplea para sincronizar la fase del oscilador local, que genera la portadora con la potencia adecuada y con la misma frecuencia que la del transmisor.

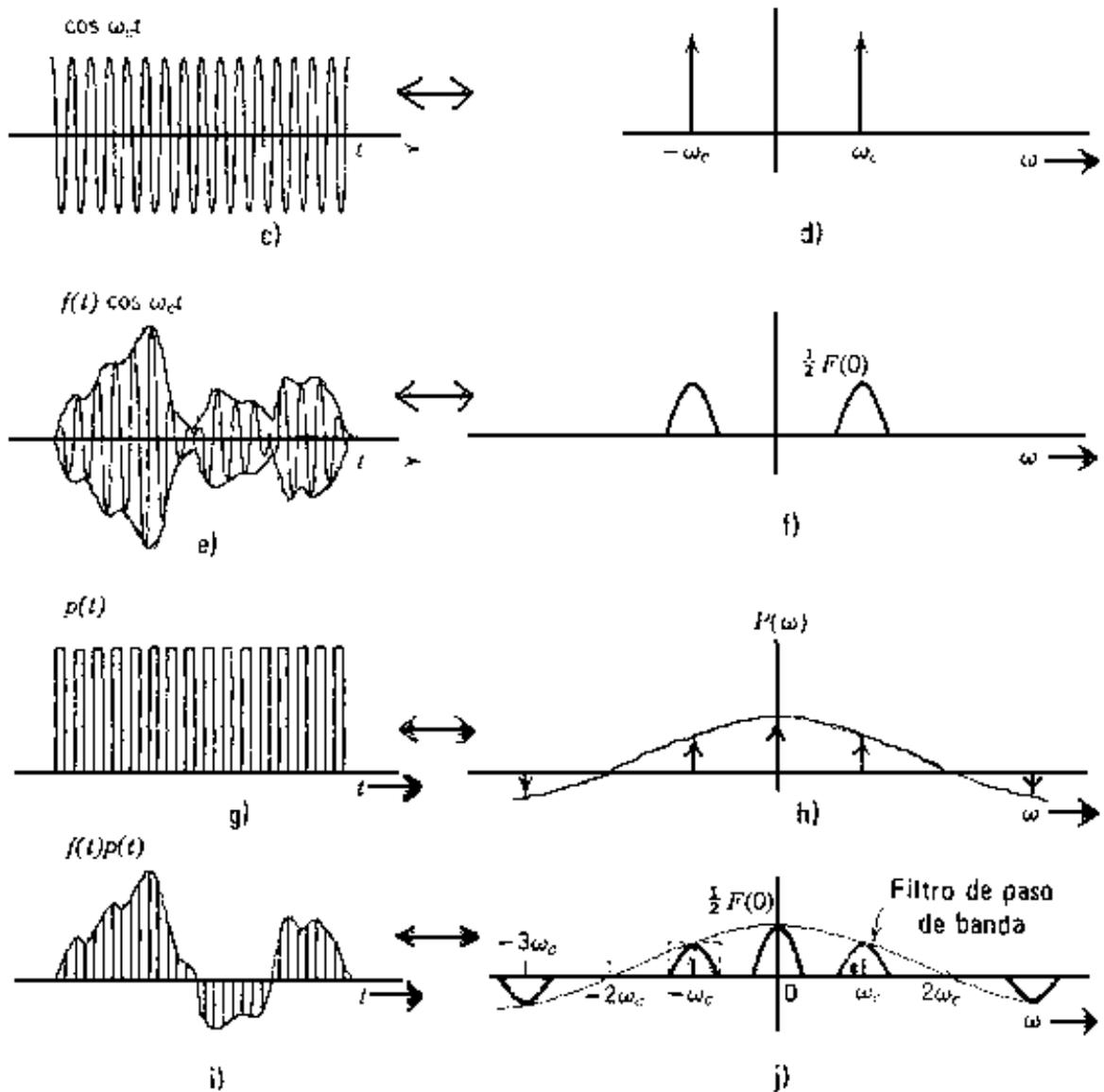


Figura 1.2

1.2.1 Técnicas de traslación de frecuencia

Según el teorema de la modulación, es obvio que se traslada el espectro de cualquier señal en $\pm \omega_c$ radianes por segundo en el dominio de la frecuencia cuando se le multiplica por una señal sinusoidal de frecuencia ω_c ; sin embargo, esta no es la única forma de lograr la traslación. Se demuestra fácilmente que se puede trasladar el espectro en una cantidad $\pm \omega_c$ al multiplicar la señal por cualquier señal periódica de frecuencia ω_c , sin importar su forma. Esto es obvio, pues cualquier forma de onda periódica de frecuencia ω_c , contiene componentes sinusoidales de frecuencias $0, \omega_c, 2\omega_c, 3\omega_c, \dots$ etc. En consecuencia, la multiplicación de la señal $f(t)$ por cualquier forma de onda periódica de frecuencia ω_c trasladará el espectro de $f(t)$ en $0, \pm \omega_c, \pm 2\omega_c, \pm 3\omega_c, \dots$ etc. Puesto que lo único que nos interesa es la parte del espectro que está centrado en $\pm \omega_c$, este se puede separar por medio de un filtro de paso de banda que permita el paso de las componentes de frecuencia centradas en $\pm \omega_c$ y atenúe las demás frecuencias.

Como ejemplo, considérese una señal $f(t)$ (figura 1.1a) cuyo espectro $F(\omega)$ se ilustra en la figura 1.1b. La multiplicación de esta señal por una señal sinusoidal $\cos \omega_c t$ (figura 1.2e) traslada el espectro en $\pm \omega_c$ (figura 1.2f). Ahora bien, en lugar de una señal sinusoidal, multiplicaremos a $f(t)$ por una onda rectangular (figura 1.2g) de frecuencia ω_c . El espectro $P(\omega)$ de una onda rectangular periódica $p(t)$ representado en la figura 1.2h, es una secuencia de impulsos localizados en $\omega = 0, \pm \omega_c, \pm 3\omega_c, \pm 5\omega_c, \dots$ etc. Es evidente que el espectro de $f(t)p(t)$ está dado por $(\frac{1}{2}\pi) F(\omega) * P(\omega)$. El resultado de esta convolución, llevada a cabo gráficamente, se muestra en la figura 1.2j.

En la figura, se ve con facilidad que la multiplicación de $f(t)$ por $p(t)$ traslada el espectro de $f(t)$ en $\omega = 0, \pm \omega_c, \pm 3\omega_c, \pm 5\omega_c, \dots$ etc. Este resultado es válido para cualquier función periódica de frecuencia ω_c , sin importar su forma. En el caso especial de una onda rectangular, las armónicas pares $\pm 2\omega_c, \pm 4\omega_c, \dots$, etc., son cero; pero en una señal periódica en general esto no sucede necesariamente. Por lo tanto, concluimos que la multiplicación de una señal $f(t)$ por cualquier señal periódica de frecuencia ω_c , sin importar su forma, traslada su espectro en $\omega = 0, \pm \omega_c, \pm 2\omega_c, \pm 3\omega_c, \dots$, etc. Se puede obtener fácilmente el resultado en forma analítica. Sea $\varphi(t)$ una señal periódica de frecuencia f_c Hz ($\omega_c = 2\pi f_c$). Tenemos que

$$\varphi(t) \longleftrightarrow 2\pi \sum_{n=-\infty}^{\infty} \Phi_n \delta(\omega - n\omega_c) \quad (1.5)$$

En donde Φ_n representa el coeficiente de la n -ésima armónica en la serie exponencial de Fourier de $\varphi(t)$. Se infiere del teorema de convolución que

$$f(t) \varphi(t) \leftrightarrow \frac{1}{2} \pi F(\omega) * 2\pi \sum_{n=-\infty}^{\infty} \Phi_n \delta(\omega - n\omega_c) \quad (1.6)$$

$$\leftrightarrow \sum_{n=-\infty}^{\infty} \Phi_n F(\omega) * \delta(\omega - n\omega_c) \quad (1.7)$$

Es evidente, por la ecuación 1.7, que el espectro de $f(t)\varphi(t)$ contiene al mismo espectro $F(\omega)$ y a $F(\omega)$ trasladado en $\pm \omega_c, \pm 2\omega_c, \dots$, etc., observamos que las amplitudes de los ciclos sucesivos de $F(\omega)$ están multiplicados por las constantes $\Phi_0, \Phi_1, \Phi_2, \dots$, etc. Cuando $\varphi(t)$ es una onda rectangular, se puede determinar Φ_n , a partir de la ecuación **1.66a** substituyendo $T=2\delta$ y $A=1$

$$\Phi_n = \frac{1}{2} Sa\left(\frac{n\pi}{2}\right)$$

Nótese que

$$Sa\left(\frac{n\pi}{2}\right) = \frac{\text{sen}(n\pi/2)}{(n\pi/2)} = \begin{cases} (-1)^{(n-1)/2} \left(\frac{2}{n\pi}\right) \\ 1 \\ 0 \end{cases}$$

Entonces de la ecuación 1.5, obtenemos

$$P(t) \leftrightarrow \pi \delta(\omega) 2 \sum_{\substack{n=-\infty \\ (n \text{ impar } 1, 3, 5, \dots)}}^{\infty} \frac{(-1)^{(n-1)/2}}{n} \delta(\omega - n\omega_c) \quad (1.8)$$

$$f(t) p(t) \longleftrightarrow \frac{1}{2} F(\omega) + \frac{1}{\pi} \sum_{\substack{n=-\infty \\ (n \text{ impar } 1, 3, 5, \dots)}}^{\infty} \frac{(-1)^{(n-1)/2}}{n} F(\omega - n\omega_c) \quad (1.9)$$

La figura 1.2j representa el espectro de la ecuación 1.9.

Sin embargo, en amplitud modulada lo único que interesa es el espectro de frecuencia centrado en $\pm \omega_c$, que se obtiene al emplear un filtro de paso de banda (Fig. 1.3)

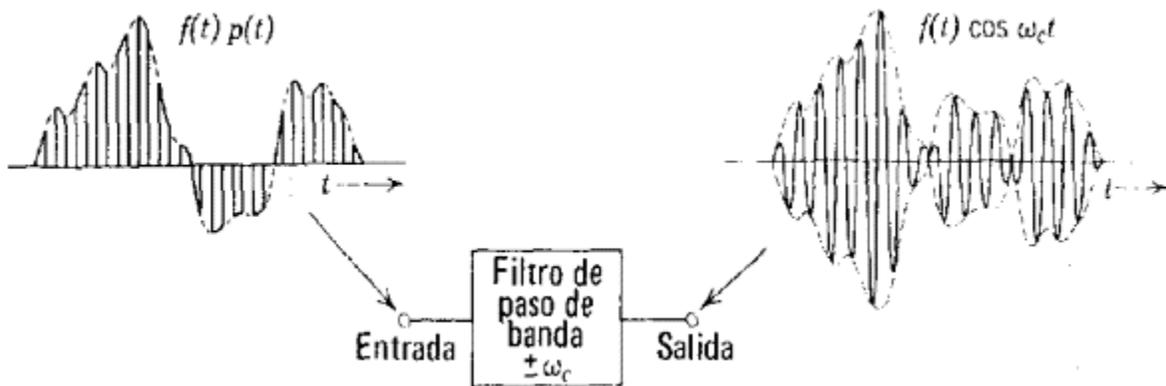


Figura 1.3 Efecto de filtrar una onda rectangular modulada.

Que deje pasar a las componentes de frecuencia centradas en $\pm \omega_c$, y atenué las demás componentes. Un circuito resonante R-L-C simple, sintonizado en $\omega = \omega_c$ dejara pasar una banda de frecuencias centrada en $\pm \omega_c$ y eliminara las demás componentes. Por consiguiente, es obvio que cuando la señal $f(t)p(t)$ (figura 1.2j) pasa a través de tal filtro de paso de banda centrado en $\pm \omega_c$ la salida resultante estará dada por $f(t) \cos \omega_c t$ como nos enseña la figura 1.3.

Al proceso de la traslación de frecuencia también se le llama conversión o mezcla de frecuencia. Los sistemas que desempeñan esa función se llaman conversores o mezcladores de frecuencia. Tanto el modulador como el demodulador ejecutan la operación de trasladar la frecuencia, por lo que también nos referimos a ellos como conversores o mezcladores de frecuencia.

En nuestro estudio de las técnicas de traslación de frecuencia a menudo nos referiremos a filtros de paso bajo, paso alto y paso de banda. Mediante el empleo de un gran número de elementos, se pueden diseñar filtros con características de magnitud o de fase que se aproximen a la característica ideal tanto como sea posible; pero en muchos casos, las componentes de frecuencia no requeridas (que se quieren eliminar) están tan separadas de las componentes de frecuencias útiles que se emplean formas muy simples de filtros.

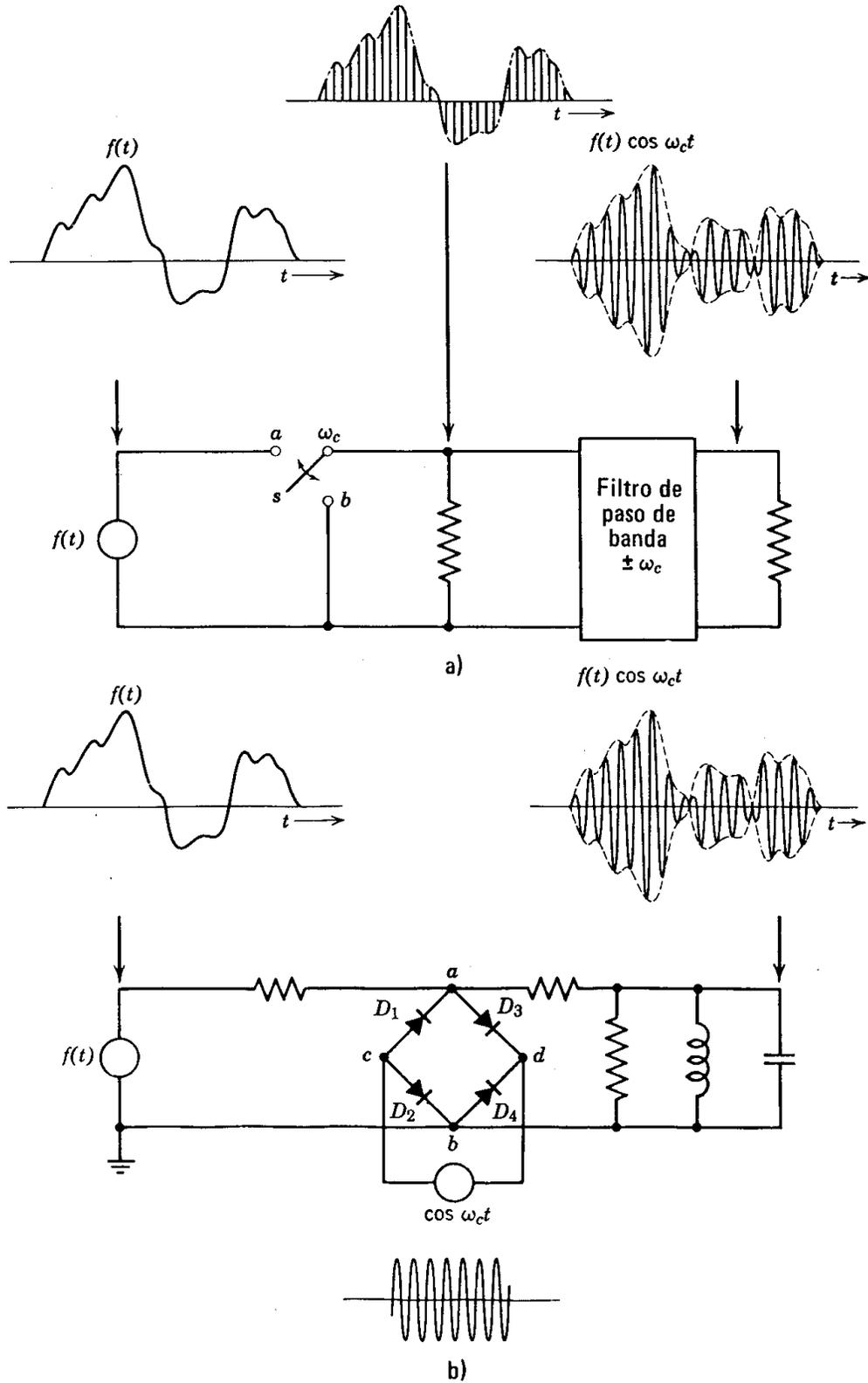


Figura 1.4 a) Esquema de un modulador de interrupción. b) Modulador balanceado de interrupción (modulador de diodos en puente), que emplea diodos como interruptores.

1.2.2 Sistemas de modulación (convertidores o mezcladores de frecuencia)

Consideremos a continuación algunos circuitos simples que llevan a cabo la modulación. Como el proceso de la modulación traslada el espectro de frecuencia, la salida de un modulador tiene frecuencias diferentes de las que componen la señal de entrada. Por lo tanto, es imposible producir modulación por medio de sistemas lineales invariantes en el tiempo, debido a que la respuesta de esos sistemas no contiene frecuencias diferentes a las de la señal de entrada; sin embargo, se puede efectuar la modulación mediante sistemas lineales variables en el tiempo (tales como circuitos de conmutación o de interrupción) o con circuitos que utilizan elementos no lineales. La no linealidad proporciona el verdadero mecanismo de la modulación, pero se suele representar un sistema que produce modulación como un sistema lineal variable en el tiempo.

El diagrama esquemático de un modulador de interrupción se muestra en la figura 1.4a. El interruptor s alterna entre las terminales a y b , con frecuencia ω_c . Durante la mitad del periodo, el interruptor conecta la terminal c con la señal $f(t)$ y durante la otra mitad, la terminal c está conectada con b . En consecuencia, la onda de salida en la terminal c se interrumpe con frecuencia ω_c . Se puede visualizar la operación de interrupción como una multiplicación de $f(t)$ por una onda rectangular $p(t)$. Como ya hemos explicado, esa forma de onda interrumpida contiene el espectro de $f(f)$ trasladado en $\omega = 0, \pm \omega_c, \pm 2\omega_c, \pm 3\omega_c, \dots$, etc. y la señal modulada que se quiere $f(t) \cos \omega_c t$ se puede recuperar al transmitir la señal interrumpida a través de un filtro de paso de banda centrado en $\pm \omega_c$ (figura 1.3).

En la práctica se obtiene ese sistema con un circuito como el que se ilustra en la figura 1.4b. En este circuito el arreglo de los diodos actúa como el interruptor necesario. Cuando la señal $\cos \omega_c t$ tiene una polaridad tal que la terminal c es positiva con respecto a la terminal d , todos los diodos conducen, si suponemos que la señal $\cos \omega_c t$ es mucho mayor que la señal $f(t)$. En estas condiciones, el voltaje a través del diodo D_1 es el mismo que el del diodo D_2 de manera que la terminal a queda al mismo potencial que el de la terminal b . Así, la terminal de salida a queda conectada a tierra. Cuando la polaridad de la señal $\cos \omega_c t$ hace que la terminal d sea positiva con respecto a la terminal c , todos los diodos quedan polarizados en forma inversa y actúan como circuito abierto. En esa condición, la terminal a está conectada con la señal $f(t)$ a través de la resistencia R . Es evidente que los diodos conectan alternativamente la terminal a con la señal $f(t)$ y con tierra a una frecuencia ω_c . En la terminal de salida, un circuito resonante paralelo sintonizado a la frecuencia ω_c actúa como filtro de paso de banda. El voltaje de salida constituye la señal modulada que se busca, proporcional a $f(t) \cos \omega_c t$. Nótese que el circuito modulador que se ha estudiado aquí es lineal puesto que la multiplicación de $f(t)$ por una constante incrementa proporcionalmente la salida; sin embargo, el circuito es variable en el tiempo, pues sus parámetros cambian periódicamente. El modulador que vemos en la figura 1.4b se conoce como modulador de diodos en puente.

En general, se describe un modulador lineal como un sistema cuya ganancia (o función de transferencia) puede variar con el tiempo si se aplica una señal variable con el tiempo en algún punto. La ganancia G puede variar proporcionalmente a la señal $f(t)$. Así,

$$G = Kf(t)$$

La portadora $\cos \omega_c t$ se aplica a la terminal de entrada (figura 1.5a). En esta forma, la salida será una señal modulada $Kf(t) \cos \omega_c t$. También se puede utilizar una portadora para variar el parámetro de ganancia (figura 1.5b) y $f(t)$ se aplica a las terminales de entrada. El ejemplo del modulador de anillo queda dentro de esta categoría. Este tipo de modulador actúa como un sistema cuya ganancia varía entre la unidad y cero, a la frecuencia de la portadora. En este caso, la variación de la ganancia en función del tiempo no es sinusoidal sino rectangular.

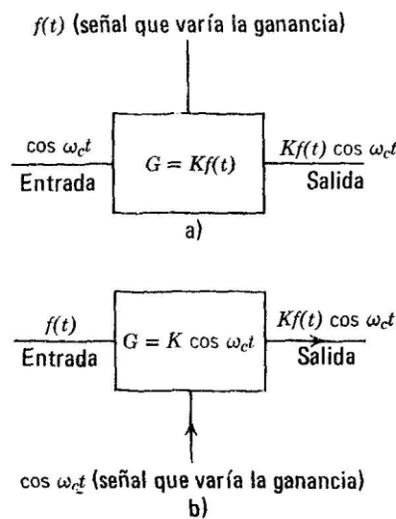


Figura 1.5 Sistemas lineales de modulación.

Esto, por supuesto, produce traslaciones indeseables en armónicas superiores de ω_c , que se eliminan mediante filtros.

En la práctica, los parámetros de ganancia de dispositivos activos, como los tubos al vacío (μ) y los transistores (β) dependen de los valores de voltajes y corrientes de polarización. Así, se puede hacer que la ganancia de estos dispositivos varíe con el tiempo, al variar los potenciales de polarización, por medio de señales adecuadas. Las características de esos sistemas de modulación (y de demodulación), que emplean tubos al vacío y transistores se describen en los textos acerca de circuitos electrónicos.

Como dijimos antes, también se puede lograr la modulación si empleamos dispositivos no lineales. En la figura 1.6a, se muestra la característica típica de un dispositivo no lineal. Un buen ejemplo de ese dispositivo es el diodo semiconductor.

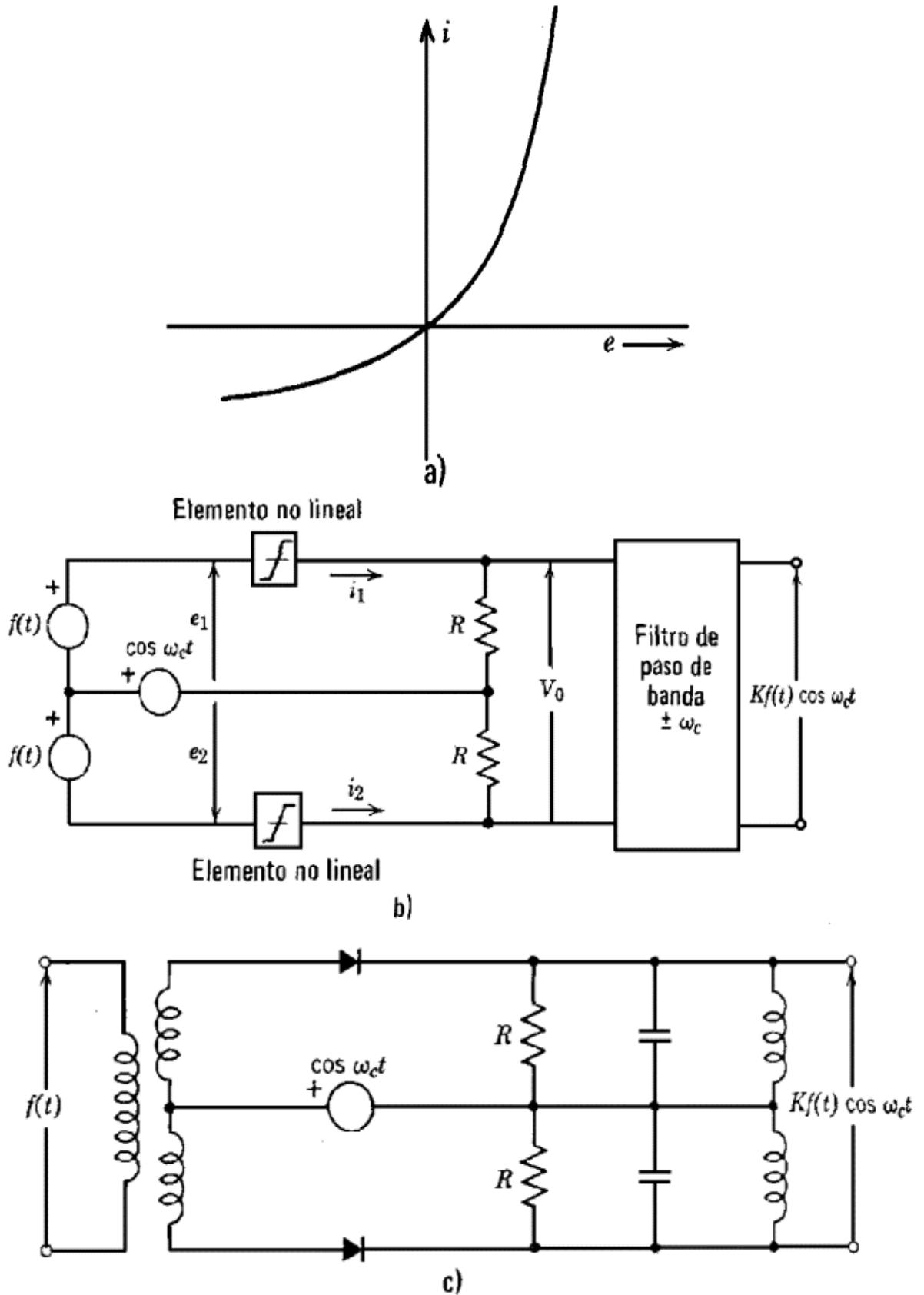


Figura 1.6

Nos podemos aproximar a una característica no lineal de esta clase mediante una serie de potencias:

$$i = ae + be^2$$

Bajo condiciones de señales grandes, los transistores y los tubos al vacío también exhiben relaciones similares entre la entrada y la salida. En la figura 1.6c tenemos un arreglo posible para llevar a cabo la modulación que emplea elementos no lineales.

Para analizar este circuito, consideremos la conexión en serie del elemento no lineal con la resistencia R como elemento no lineal compuesto, cuyo voltaje terminal e y corriente; se relacionan por la serie de potencias:

$$i = ae + be^2$$

Los voltajes e_1 y e_2 (figura 1.6b): están dados por

$$e_1 = \cos \omega_c t + f(t)$$

$$\text{y } e_2 = \cos \omega_c t - f(t)$$

Es evidente que las corrientes i_1 y i_2 están dadas por

$$i_1 = ae_1 + be_1^2$$

$$= a [\cos \omega_c t + f(t)] + b [\cos \omega_c t + f(t)]^2 \quad (1.10a)$$

Y

$$i_2 = a [\cos \omega_c t - f(t)] + b [\cos \omega_c t - f(t)]^2 \quad (1.10b)$$

El voltaje de salida v_0 es:

$$v_0 = i_1 R - i_2 R$$

Si sustituimos 1.10 en esta ecuación obtenemos:

$$v_0(t) = 2R [2bf(t) \cos \omega_c t + af(t)]$$

Se puede eliminar la señal $af(t)$ de esa ecuación mediante un filtro de paso de banda sintonizado en ω_c , en las terminales de salida. En este circuito, se pueden emplear diodos semiconductores como elementos no lineales. En la figura 1.6c, se muestra una versión práctica de ese modulador. Todos los moduladores que hemos examinado generan señales moduladas en amplitud con portadora suprimida y se llaman moduladores balanceados.

1.2.3 Demodulación (detección) de señales moduladas en amplitud con portadora suprimida

Para recobrar la señal original $f(t)$ en el extremo receptor, es necesario demodular la señal recibida $f(t)$ con $\omega_c t$. Como se ha visto, el proceso de demodulación equivale a la traslación del espectro y se realiza mediante la multiplicación de la señal modulada $f(t)$ con $\omega_c t$ por $\cos \omega_c t$ (detección síncrona). Por lo tanto, los mismos circuitos que se usaron en el proceso de modulación se pueden emplear para el propósito de la demodulación. Sin embargo, existe una diferencia entre los circuitos de modulación y de demodulación. El espectro de salida del modulador está centrado en $\pm \omega_c$ por lo que es necesario usar un filtro de paso de banda sintonizado en ω_c en la salida de dicho circuito. En el caso del demodulador, el espectro de salida es $F(\omega)$ y está centrado en $\omega = 0$. En consecuencia, se emplea un filtro de paso bajo en la salida para eliminar las componentes indeseables de frecuencia alta que están centradas en $\pm \omega_c, \pm 2\omega_c, \pm 3\omega_c, \dots$, etc.

El demodulador de interrupción y el de elementos no lineales se muestran en las figuras 1.7a y 1.7b. Obsérvese que, en la salida de cada circuito, se utiliza una configuración R-C como filtro de paso bajo.

Se puede realizar la demodulación al multiplicar la señal modulada $f(t)$ con $\cos \omega_c t$ por una señal periódica de frecuencia ω_c . Si $\phi(t)$ es una señal periódica de frecuencia ω_c , entonces su transformada de Fourier $\phi(t)$ se puede escribir como (ecuación 1.5)

$$\phi(t) \longleftrightarrow 2\pi \sum_{n=-\infty}^{\infty} \Phi_n \delta(\omega - n\omega_c)$$

Es obvio que si multiplicamos la señal modulada $f(t)$ con $\cos \omega_c t$ por $\phi(t)$, el espectro resultante estará dado por

$$f(t) \cos \omega_c t \phi(t) \longleftrightarrow \pi [F(\omega + \omega_c) + F(\omega - \omega_c)] * \sum_{n=-\infty}^{\infty} \Phi_n \delta(\omega - n\omega_c)$$

$$\longleftrightarrow \pi \sum_{n=-\infty}^{\infty} \Phi_n \{ F[\omega - (n+1)\omega_c] + F[\omega - (n-1)\omega_c] \} \quad (1.11)$$

Es claro que este espectro contiene un término $F(\omega)$ que se elimina con un filtro de paso bajo.

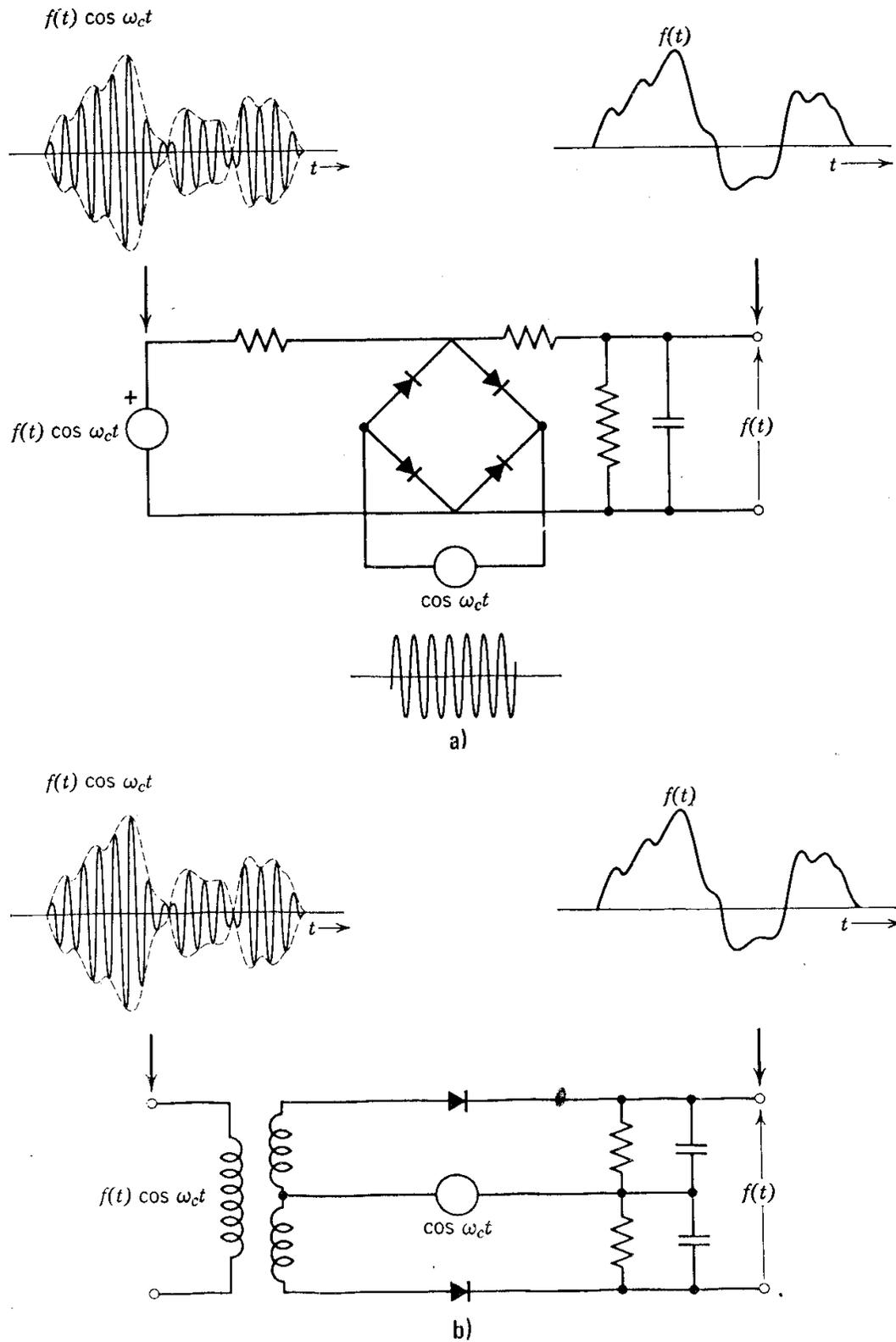


Figura 1.7 a) Demodulador de diodos en puente. b) Demodulador con elementos no lineales.

1.2.4 Amplificador de interrupción

El principio de la traslación de frecuencia también resulta útil en los amplificadores de corriente directa y frecuencia baja. Por consideraciones prácticas del tamaño de los capacitores de acoplamiento, es muy difícil construir amplificadores para frecuencias muy bajas. Como un capacitor actúa como circuito abierto a frecuencias bajas, los capacitores de acoplamiento, de los que se requiere en los amplificadores de varias etapas son de gran tamaño. En consecuencia, para amplificar señales de corriente directa y de frecuencias muy bajas, se utiliza el acoplamiento directo. Sin embargo, este acoplamiento plantea un problema grave de desviación del punto de operación estática del amplificador. La desviación causada por los cambios ambientales hace variar la señal de salida y la variación se confunde con la que produce la misma señal de entrada. El problema se resuelve con un amplificador de interrupción cuyo funcionamiento consiste, en esencia, en trasladar el espectro de la señal de entrada a un rango superior de frecuencia apropiado en donde la amplificación se realiza fácilmente. Se demodula la señal amplificada para recuperar la forma amplificada de la señal original de frecuencia baja.

Aunque puede emplearse cualquiera de los circuitos estudiados, generalmente se utiliza un interruptor mecánico para la modulación y la demodulación. El interruptor mecánico tiene un conmutador que vibra entre dos terminales haciendo contacto alternativamente con ellas. Puesto que los procesos tanto de modulación como de demodulación requieren de una portadora con la misma frecuencia, es necesario tener el mismo interruptor para modular y demodular, como se ilustra en la figura 1.8.

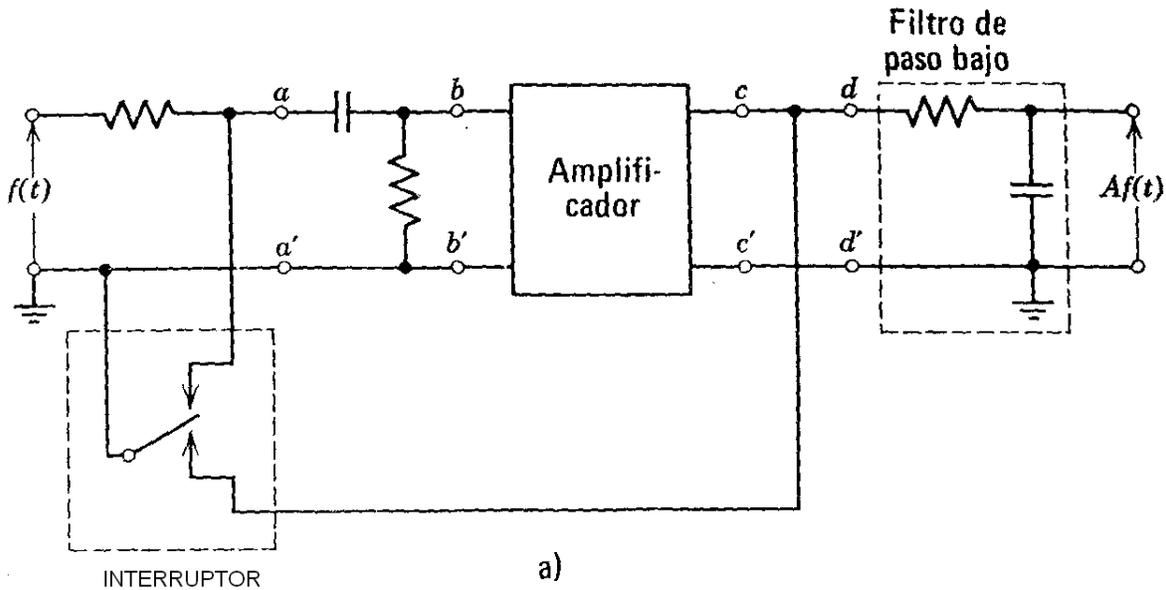


Figura 1.8

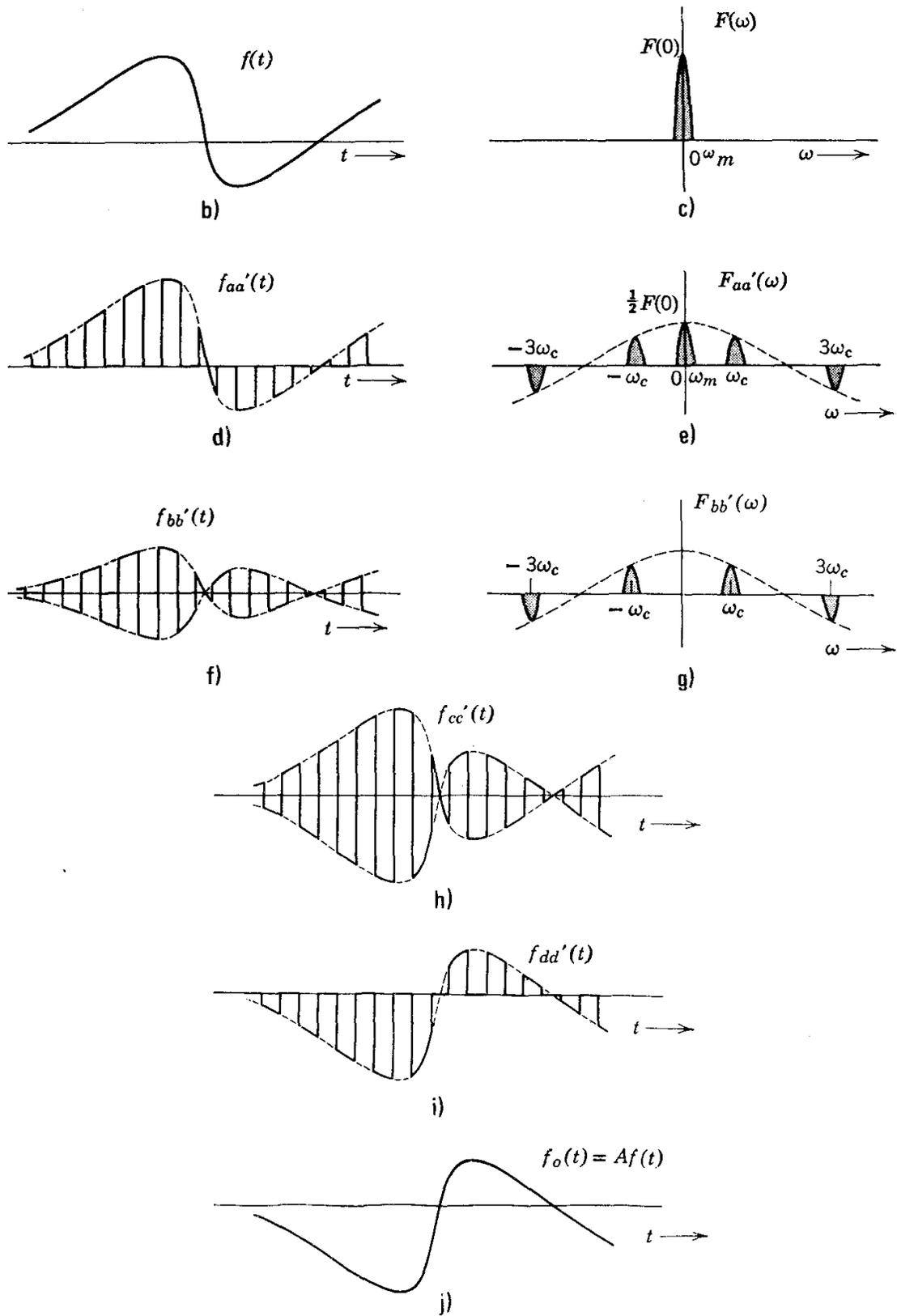


Figura 1.8 (conclusión)

Considérense la serial de baja frecuencia $f(t)$ y su espectro $F(\omega)$ de las figuras 1.8b y 1.8c, respectivamente. Como muestra la figura 1.8a, se aplica la señal $f(t)$ en las terminales de entrada del amplificador de interrupción. El interruptor de entrada pone a tierra a $f(t)$ en cada medio ciclo. La señal interrumpida que aparece en las terminales aa' se indica en la figura 1.8d. Esta señal equivale a $f(t)$ multiplicada por una onda rectangular $p(f)$. El espectro de la serial interrumpida en las terminales aa' es $F_{aa'}(\omega)$ como vemos en la figura 1.8e (véase la figura 1.2j).

El capacitor de entrada bloquea el espectro centrado en $\omega = 0$. Por lo tanto, el espectro $F_{bb'}(\omega)$ de la señal que aparece en las terminales bb' , es idéntico a $F_{aa'}(\omega)$ sin el espectro en $\omega = 0$. El espectro $F_{bb'}(\omega)$ es el de la figura 1.8g. La serial que aparece en las terminales bb' es $f_{bb'}(t)$ y es la transformada inversa de Fourier de $F_{bb'}(\omega)$. Obsérvese aquí que:

$$F_{bb'}(\omega) = F_{aa'}(\omega) - \frac{1}{2} F(\omega)$$

Entonces:

$$f_{bb'}(t) = f_{aa'}(t) - \frac{1}{2} f(t)$$

Por lo tanto, obtenemos la señal $f_{bb'}(t)$ al restar de la señal interrumpida $f_{aa'}(t)$ la mitad de los valores instantáneos de la señal original $f(t)$. Esto resulta en la forma de onda bipolar $f_{bb'}(t)$ que se ilustra en la figura 1.8f. El resultado se vuelve obvio si se observa que capacitor de entrada bloquea la componente promedio de $f_{aa'}(t)$ y convierte la señal a la forma bipolar $f_{bb'}(t)$. La señal $f_{bb'}(t)$ es la señal de entrada del amplificador. Nótese que $f_{bb'}(t)$ ya no contiene componentes de frecuencia muy baja por lo que se puede amplificar fácilmente. Se ha representado la salida del amplificador en la figura 1.8b. A continuación, se demodula la señal por medio del mismo interruptor; este pone a tierra la señal de salida cada medio ciclo. Obsérvese que los semiciclos a tierra de entrada y de salida son complementarios.

La señal demodulada que aparece en dd' es $f_{dd'}(t)$ y se indica en la figura 1.8i. En realidad, esa señal es una versión amplificada e interrumpida de la señal original $f(t)$.

En consecuencia, se puede recobrar $f(t)$ si hacemos pasar la señal por un filtro de paso bajo (circuito R-C) como el que aparece en la figura 1.8a. La salida final tiene una inversión de signo; sin embargo, la mayoría de los amplificadores también tienen una inversión adicional de signo (cambio de fase de 180°). En esos casos, la señal de salida es una forma amplificada de $f(t)$ sin inversión de signo.

1.3 Modulación en amplitud con portadora de alta potencia (AM)

Hemos visto que en los sistemas de portadora suprimida se necesitan circuitos complejos en el receptor para generar una portadora de la frecuencia exacta que dé lugar a la detección síncrona; pero esos sistemas son muy eficientes en lo que se refiere a los circuitos de potencia en el transmisor. En las comunicaciones de punto a punto, en donde existe un transmisor por cada receptor, tal complejidad del receptor, estará justificada del receptor, cuando reanude en grandes ahorros en el costoso equipo transmisor de alta potencia. En cada transmisor, resulta más económico tener un solo transmisor costo de alta potencia y receptores más simples y económicos. En esas aplicaciones, junto con la señal modulada con portadora suprimida $f(t) \cos \omega_c t$ se transmite una señal de portadora en el extremo receptor. Por lo tanto, la señal transmitida es aquí $\phi_{AM}(t)$ y está dada por

$$\phi_{AM}(t) = f(t) \cos \omega_c t + A \cos \omega_c t \quad (1.12a)$$

Es obvio que el espectro de $\phi_{AM}(t)$ es el mismo que el de $f(t) \cos \omega_c t$ excepto que existen dos impulsos adicionales en $\pm \omega_c$. (figura 1.9):

$$\phi_{AM}(t) \leftrightarrow \frac{1}{2}[F(\omega + \omega_c) + F(\omega - \omega_c)] + \pi A [\delta(\omega + \omega_c) + \delta(\omega - \omega_c)] \quad (1.12b)$$

La señal modulada $\phi_{AM}(t)$ ilustrado en la figura 1.9. Esta señal (ecuación 1.12a) se puede escribir como:

$$\phi_{AM}(t) = [A + f(t)] \cos \omega_c t \quad (1.13)$$

Es claro que se puede considerar la señal modulada $\phi_{AM}(t)$ como señal portadora $\cos \omega_c t$, cuya amplitud está dada por $[A + f(t)]$. La envolvente de la señal modulada es de la forma de onda de $f(t)$ aumentada en una constante A . Por lo tanto, en este caso la recuperación de la señal $f(t)$ se reduce simplemente a la detección de la envolvente.

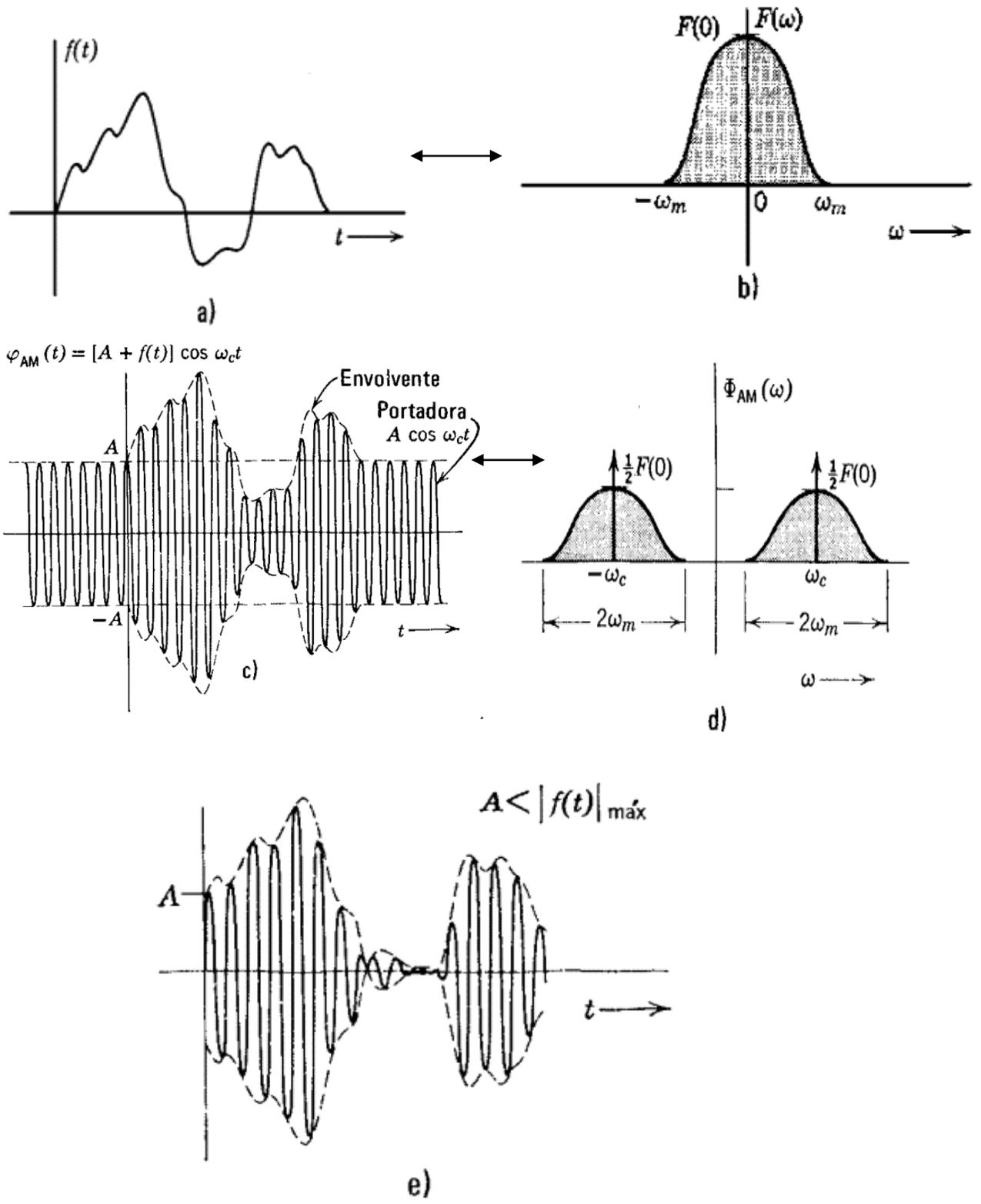


Fig. 1.9

Nótese que la constante A debe ser suficientemente grande para conservar exactamente la forma de la onda envolvente $f(t)$; si A no es suficientemente grande (figura 1.9e), entonces la forma de onda envolvente no es igual a la de $f(t)$, por lo que esta no se puede recobrar mediante un simple proceso de detección de la envolvente, sino que se le detecta con el método de detección síncrona multiplicar por $\cos \omega_c t$. Entonces, A debe ser suficientemente grande para que $[A - f(t)]$ tenga siempre valor positivo. Esto es posible si

$$A > |f(t)|_{\text{máx.}} \quad (1.14)$$

Describiremos más adelante la técnica de la detección de la envolvente, en esta misma sección.

Las señales, que contienen portadoras de alta potencia tales satisfacen la condición de la ecuación 1.14, se llaman simplemente señales de amplitud modulada (AM). Así, la señal $[A + f(t)] \cos \omega_c t$ (figura 1.9e) se llama señal de AM mientras que se había de $f(t) \cos \omega_c t$ (figura 1.1d) como señal de AM-PS. Veremos a continuación que las señales de AM son más fáciles de generar y demodular que las de AM-PS. Se estudiarán algunos de los métodos empleados para la generación y la demodulación de las señales de AM.

1.3.1 La generación de señales de AM

Como en el caso de las señales de AM-PS, también las de AM se generan mediante un modulador de interrupción y moduladores que emplean dispositivos no lineales. En el modulador de interrupción (figura 1.10a), la señal modulante $f(t)$ con la portadora en serie queda conectada por medio de un conmutador que opera a la frecuencia ω_c . El funcionamiento del conmutador equivale a la multiplicación de la señal de entrada por una onda rectangular $p(t)$ de frecuencia ω_c . Obtenemos el espectro de la señal resultante $v(t)$ por la convolución de los espectros de $[f(t) + k \cos \omega_c t]$ y $p(t)$, como se indica en la figura 1.11. La convolución proporciona el espectro requerido centrado en $\pm \omega_c$, además de otras componentes indeseables de frecuencia en $\omega = 0, \pm 3 \omega_c, \pm 5 \omega_c, \dots$, etc., que se eliminan mediante un filtro de paso de banda sintonizado en ω_c . El desarrollo analítico de esto se deja como ejercicio para el lector.

Se puede construir un conmutador con un diodo, como nos muestra la figura 1.10c. Si suponemos que el diodo es ideal (resistencia directa cero y resistencia inversa infinita) y si la magnitud de la portadora es mucho más grande que el valor pico de $f(t)$, entonces el diodo actúa justamente como conmutador que se cierra cuando la señal portadora es positiva y se abre cuando es negativa. En consecuencia, el diodo interrumpe la señal de entrada a una frecuencia ω_c , obteniéndose una señal $v(t)$ cuyo espectro se muestra en la figura 1.11c. Cuando se transmite esta señal por un filtro de paso de banda sintonizado en ω_c , se obtiene la señal requerida. Obsérvese que el diodo elimina la parte negativa de la

Señal compuesta $[f(t) + k \cos \omega_c t]$. Se tiene una rectificación de media onda de la señal de entrada, por lo cual este tipo de modulador también se conoce como modulador del tipo rectificador.

Cuando en un sistema modulador se emplea en un dispositivo no lineal, este ultimo proporciona el mecanismo de modulación (figura 1.10b). Si suponemos que para la configuración formada por el dispositivo no lineal y la resistencia R , de la figura 1.10b, se cumple una relación de serie de potencias entre el voltaje y la corriente.

$$i = ae + be^2 \tag{1.15}$$

Entonces se puede demostrar fácilmente que la señal $v(t)$ consta de términos que representan la señal modulada y términos indeseables que se eliminan mediante un filtro de paso de banda sintonizado en ω_c . Un diodo semiconductor se asemeja más al elemento no lineal que satisface la ecuación 1.15, que el diodo ideal.

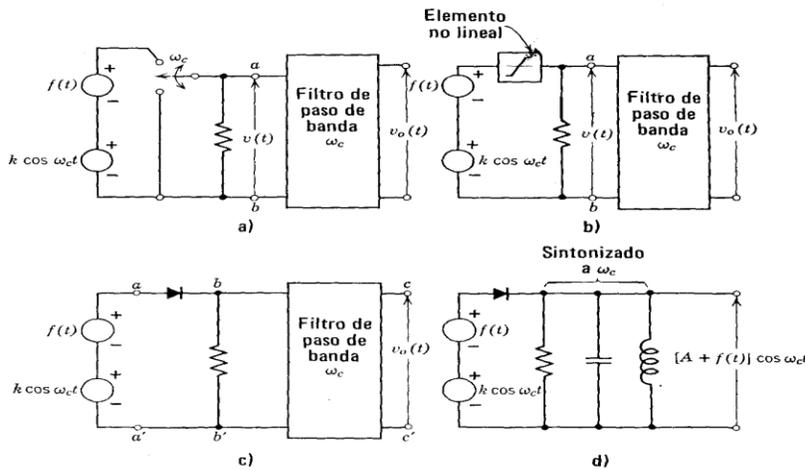


Figura 1.10 Generación de una señal de AM.

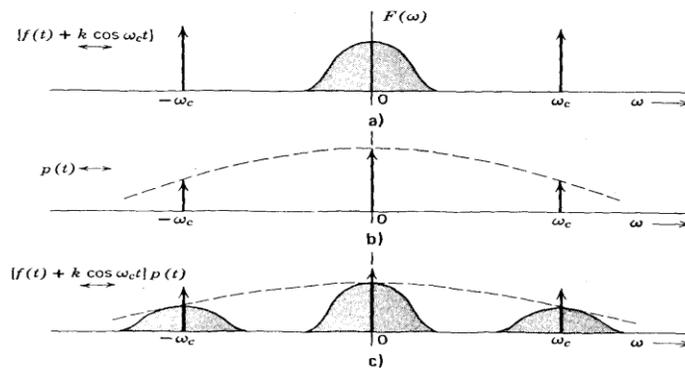


Figura 1.11

1.3.2 Demodulación de las señales de AM

Se pueden detectar las señales de AM con las técnicas de detección síncrona que se examinaron en las señales de AM-PS. Sin embargo, para demodular las señales de AM, se pueden usar técnicas más simples. Clasificaremos los detectores de señales de AM en detectores rectificadores y detectores de envolvente. Ambos detectores parecen equivalentes, pero funcionan con principios enteramente diferentes. El detector rectificador opera bajo el principio de detección síncrona, mientras que el detector de envolvente es un circuito no lineal cuya salida tiende a seguir a la envolvente de la señal de entrada. Vamos a considerar individualmente cada detector.

1.3.3 Detector rectificador

Este circuito (figura 1.12) es esencialmente igual al modulador rectificador con la diferencia de que no necesita la señal portadora. El circuito del detector rectifica simplemente la señal modulada; la señal rectificada es la original sin los ciclos negativos.

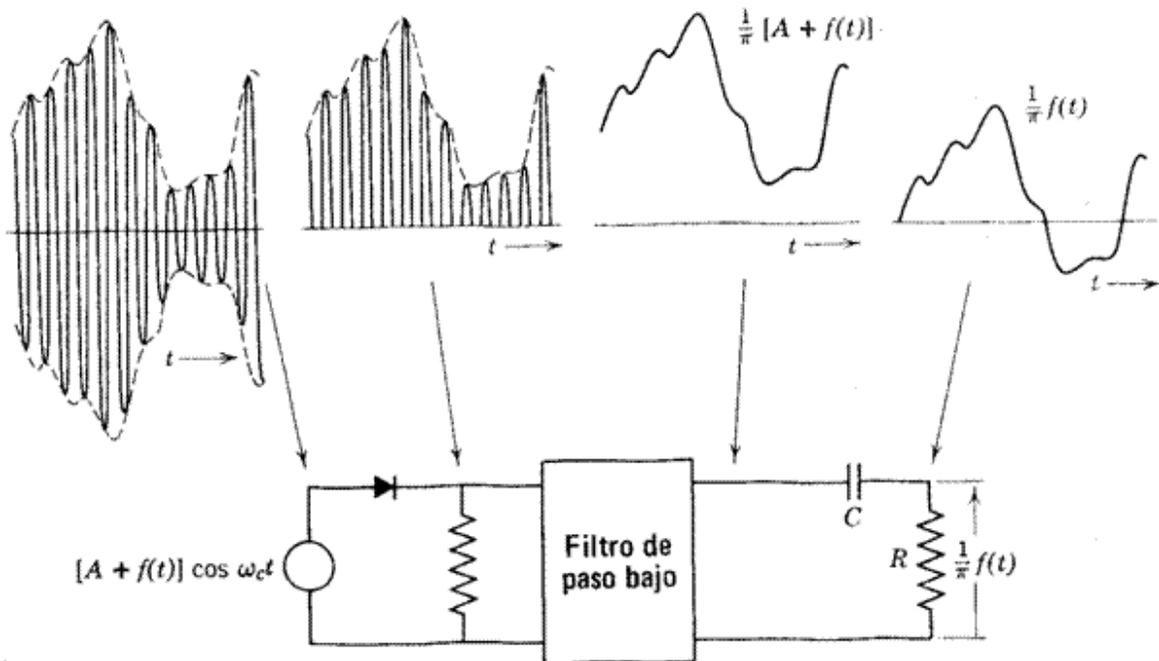


Figura 1.12 Detector rectificador.

Esto equivale a multiplicar los valores positivos de la señal por uno y los valores negativos por cero. Por consiguiente, la rectificación equivale evidentemente a la multiplicación de la señal modulada por una onda rectangular $p(t)$ de frecuencia ω_c . Por lo tanto, se obtiene el espectro de la señal rectificada por medio de la convolución del espectro de la señal modulada con el de $p(t)$. Vemos el resultado de la convolución gráfica en la figura 1.13f. Es obvio, según la figura, que se puede recuperar la señal $f(t)$ si se hace pasar la señal rectificada por un

filtro de paso bajo. La salida de un filtro de paso bajo todavía contiene un término de corriente directa (impulso en el origen), al que se elimina colocando un capacitor C a la salida del circuito (figura 1.12). La determinación analítica de la convolución de los espectros de $\varphi_{AM}(t)$ (ecuación 1.12b) y de $p(t)$ (ecuación 1.8) es sencilla. También podemos usar directamente el resultado de la ecuación 1.9:

$$\varphi_{AM}(t)p(t) \leftrightarrow \frac{1}{2} \Phi_{AM}(\omega) + \frac{1}{\pi} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{(-1)^{(n-1)/2}}{n} \Phi_{AM}(\omega - n\omega_c) \quad (1.16)$$

Por la ecuación 1.12b, tenemos que

$$\Phi_{AM}(\omega) = \frac{1}{2} [F(\omega + \omega_c) + F(\omega - \omega_c)] + \pi A [\delta(\omega + \omega_c) + \delta(\omega - \omega_c)] \quad (1.17)$$

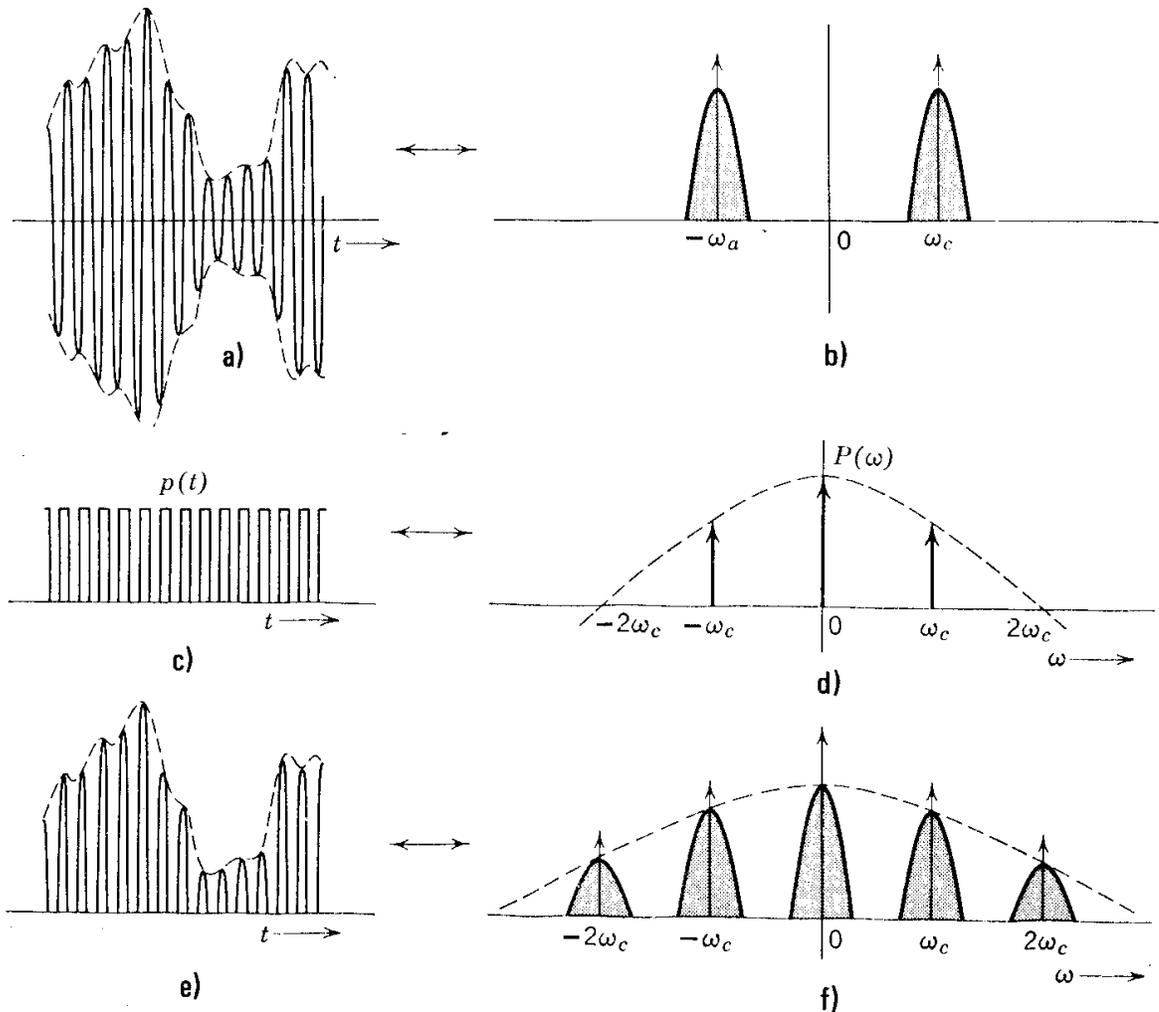


Figura 1.13

Al substituir la ecuación 1.17 en la ecuación 1.16 se obtiene todo el espectro que se muestra en la figura 1.13f. En este espectro, solo nos interesa la componente de frecuencia baja (el espectro centrado en $\omega = 0$), dada por los términos correspondientes a $n = \pm 1$ en la suma de la ecuación 1.16. El lector puede comprobar fácilmente que la salida $e_o(t)$ está dada por

$$e_o(t) \leftrightarrow 1/\pi F(\omega) + 2A \delta(\omega)$$

Y

$$e_o(t) = 1/\pi [A + f(t)] \quad (1.18)$$

Se puede duplicar la salida $e_o(t)$ de la ecuación 1.18 por medio de un rectificador de onda completa, en lugar del rectificador de media onda de la figura 1.12.

Nótese que la detección del tipo rectificador es esencialmente una detección síncrona, pues la operación de rectificación equivale a la multiplicación de la señal modulada por una señal periódica (onda rectangular) de frecuencia ω_c . Es importante darse cuenta de que la multiplicación se lleva a cabo sin señal portadora alguna. Esto es consecuencia del alto contenido de portadora en la señal modulada misma. Si no estuviera presente la portadora (como en el caso de la portadora suprimida), entonces la operación de rectificación no sería equivalente a la multiplicación de la señal de entrada por $p(t)$. En general, para una señal de AM, si no se satisface la condición de la ecuación 1.14, a saber:

$$[A + f(t)] > 0 \quad \text{para cualquier valor de } t$$

Entonces no se puede usar el detector de tipo rectificador; si se satisface la condición, los puntos en que la señal recibida $[A + f(t)] \cos \omega_c t$ cruza el eje horizontal están colocados periódicamente y el proceso de rectificación equivale a multiplicar la señal por $p(t)$; sin embargo, si no se satisface la condición $[A + f(t)] > 0$ para cualquier valor de t , la amplitud $A + f(t)$ cambia del signo positivo al negativo y viceversa. De esta manera, existirán otros puntos en que la señal modulada cruza el eje horizontal no necesariamente colocado periódicamente. Vemos que, con esa condición, la rectificación no equivale a la multiplicación por $p(t)$ y el método de la rectificación sirve para demodular estas señales. En esos casos, se puede recobrar la señal $f(t)$ mediante la detección síncrona, que requiere de una portadora local para la multiplicación en el receptor.

Lo tratado anteriormente también nos sugiere otra posibilidad de detección de señales con portadora suprimida (en general, señales que no satisfacen la condición de la ecuación 1.14). Podemos agregar a esas señales determinada cantidad de potencia de portadora con el objeto de satisfacer

$$[A + f(t)] > 0 \quad \text{para cualquier valor de } t$$

Para rectificar y filtrar esa señal y recobrar $f(t)$. Así, en lugar de usar la portadora para multiplicar la señal $f(t) \cos \omega_c t$, agregamos a la señal modulada una portadora con potencia suficiente para hacer posible su detección con la técnica de detección por rectificación.

1.3.4 Detector de envolvente

En este tipo de detector la salida sigue la envolvente de la señal modulada. El detector de envolvente es esencialmente un circuito rectificador con un capacitor a través de las terminales de salida, como se muestra en la figura 1.14.

En el ciclo positivo de la señal de entrada, el capacitor C se carga al voltaje pico de esta señal. Cuando la señal de entrada es menor que este valor pico, hay un corte del diodo, debido a que el voltaje del capacitor (aproximadamente el valor pico) es mayor que el voltaje de la señal de entrada. El capacitor se descarga lentamente a través de la resistencia R . En el pico del siguiente ciclo positivo, la señal de entrada es más grande que el voltaje del capacitor y el diodo conduce. El capacitor se carga al valor pico de este nuevo ciclo y se descarga lentamente durante el periodo de corte, con un cambio muy pequeño en su voltaje de carga.

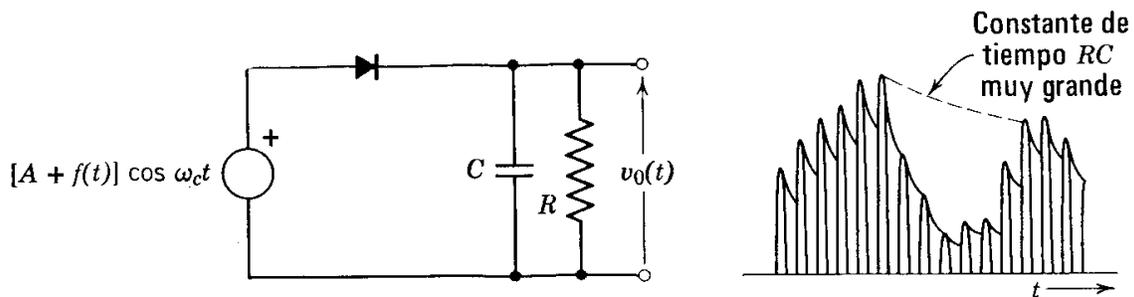


Figura 1.14 Detector de envolvente.

Durante cada ciclo positivo, el capacitor se carga al voltaje pico de la señal de entrada y permanece con este voltaje hasta el siguiente ciclo positivo. La constante de tiempo RC del circuito de salida se ajusta para que la disminución exponencial del voltaje del capacitor, siga aproximadamente la envolvente durante el periodo de descarga; el voltaje a través del capacitor ha adquirido un rizo indeseable de frecuencia ω_c , que se elimina con otro filtro de paso bajo.

Aparentemente, el detector de envolvente es un detector rectificador con un filtro de paso bajo proporcionado mediante el circuito R - C . Eso no es cierto. El detector rectificador es un sistema lineal de parámetros variables en el tiempo, mientras que el detector de envolvente es un sistema no lineal. Los dos sistemas funcionan a partir de principios completamente diferentes, aunque la salida final sea la misma. Se entiende fácilmente el motivo por el cual el rectificador seguido de un filtro produce la envolvente de la señal modulada. La rectificación corta los

ciclos positivos y el filtro de paso bajo produce la componente de frecuencia baja, que es el promedio de la señal restante (ciclos positivos). Se trata obviamente, de la envolvente de la señal modulada.

De lo que hemos estudiado, podemos deducir claramente que la salida del detector de envolvente es π multiplicado por la del detector rectificador (ecuación 1.18). Por lo tanto, el detector de envolvente no solo es más simple que el detector rectificador, sino también más eficiente. En consecuencia, el empleo del detector de envolvente es casi universal en la detección de señales de AM. Todos los receptores comerciales de AM tienen detectores de envolvente.

1.3.5 Contenido de potencia de las bandas laterales y de la portadora en AM

En las señales de AM, la información no está contenida en la portadora de modo que la potencia transmitida en dicha señal representa un desperdicio. Resulta interesante encontrar el contenido relativo de potencia en la portadora y las bandas laterales (que contienen la información efectiva). La señal modulada está dada por:

$$\varphi_{AM}(t) = \underbrace{A \cos \omega_c t}_{\text{portadora}} + \underbrace{f(t) \cos \omega_c t}_{\text{bandas laterales}}$$

La potencia P_c en la portadora es el valor cuadrático medio de $A \cos \omega_c t$ y es claramente $A^2/2$:

$$P_c = \frac{A^2}{2}$$

La potencia P_s de las bandas laterales es el valor cuadrático medio de $f(t) \cos \omega_c t$, que es igual a la mitad del valor cuadrático medio de $f(t)$:

$$P_s = \frac{1}{2} \overline{f^2(t)}$$

La potencia total P_t es $P_c + P_s$:

$$P_t = P_c + P_s = \frac{1}{2} [A^2 + \overline{f^2(t)}]$$

El porcentaje de la potencia total contenida en las bandas laterales es η , dado por

$$\eta = \frac{P_s}{P_t} \times 100\% = \frac{\overline{f^2(t)}}{A^2 + \overline{f^2(t)}} \times 100\% \quad (1.19)$$

Nótese que para AM, $|f(t)|_{\text{máx.}} \leq A$. En el caso especial en que $f(t)$ es, señal sinusoidal,

$$f(t) = mA \cos \omega_m t$$

m se llama índice de modulación, y debe ser menor o igual a la unidad ($m \leq 1$). En la figura 1.15 vemos dos señales con $m = 0.5$ y $m = 1$. En este caso,

$$\overline{f^2(t)} = \frac{(mA)^2}{2}$$

Y

$$\eta = \frac{m^2}{2 + m^2} \times 100\% \quad (1.20)$$

Con la condición de que $m \leq 1$, se ve fácilmente que

$$\eta_{\text{máx.}} = 1/3 \times 100\% = 33.3\%$$

Entonces, en el máximo índice de modulación ($m = 1$), la eficiencia de la transmisión es del 33 %. Con esta condición, el 67 % de la potencia está contenido en la portadora y, como tal, representa un desperdicio.

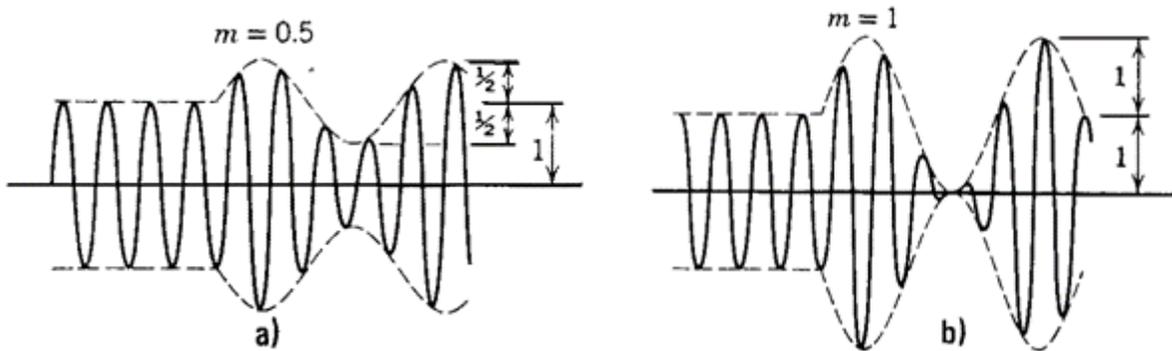


Figura 1.15

En valores de m menores que la unidad, la eficiencia es menor del 33 %. Nótese que, para AM-PS, no existe la portadora y la eficiencia es del 100%.

1.4 Transmisión de banda lateral única

En el proceso de modulación en amplitud, el espectro original $F(\omega)$ se traslada en $\pm (\omega_c)$ como se muestra en la figura 1.16b. La señal modulante ocupa el ancho de banda ω_m (figura 1.16a), mientras que la señal modulada ocupa un ancho de banda $2\omega_m$. Por lo tanto el precio que se paga por la traslación de frecuencia que hasta aquí hemos estudiado, implica un ancho de banda doble. Sin embargo, la situación no es irremediable.

La figura 1.16b nos muestra que, al transmitir el espectro completo, se transmite información redundante. El espectro $F(\omega)$ se ha trasladado a ω_c y a $-\omega_c$. Estos dos espectros son idénticos, y cada uno de ellos contiene toda la información acerca de $F(\omega)$. Se podría pensar entonces en transmitir solo uno de

Ellos; sin embargo, esto es imposible pues, como se ha demostrado, el espectro de cualquier señal física, es función par de ω . Un espectro que no es simétrico con respecto al eje vertical que pasa por el origen no representa a una señal real y, en consecuencia, no se puede transmitir. Existe otra forma de resolver este problema.

Observamos que el espectro centrado en ω_c está compuesto por dos partes: una porción queda por encima de ω_c y se conoce como banda lateral superior y la otra queda por debajo de ω_c y se conoce como banda lateral inferior. De igual manera, el espectro centrado en $-\omega_c$ contiene bandas laterales superior e inferior (figura 1.16b); obsérvese en la figura 1.16b que las dos bandas laterales superiores (o las dos inferiores) contienen la formación completa de $F(\omega)$. En consecuencia, en lugar de transmitir el espectro completo de la figura 1.16b, es suficiente transmitir o bien las bandas laterales superiores o las inferiores (como se ilustra en las figuras 1.16c y d). Nótese que cada una de las dos bandas laterales superiores o inferiores es función par de ω y por lo tanto, representa una señal real. Se puede recobrar la señal original $f(t)$ a partir de las bandas laterales superiores o inferiores por medio de la traslación apropiada de frecuencia. En este caso, para transmitir dichas bandas, necesitamos solamente la mitad del ancho de banda (ω_m). Este modo de transmisión se conoce como transmisión de banda lateral única (BLU), en contraste con la transmisión de banda lateral doble (BLD) que se estudio anteriormente.

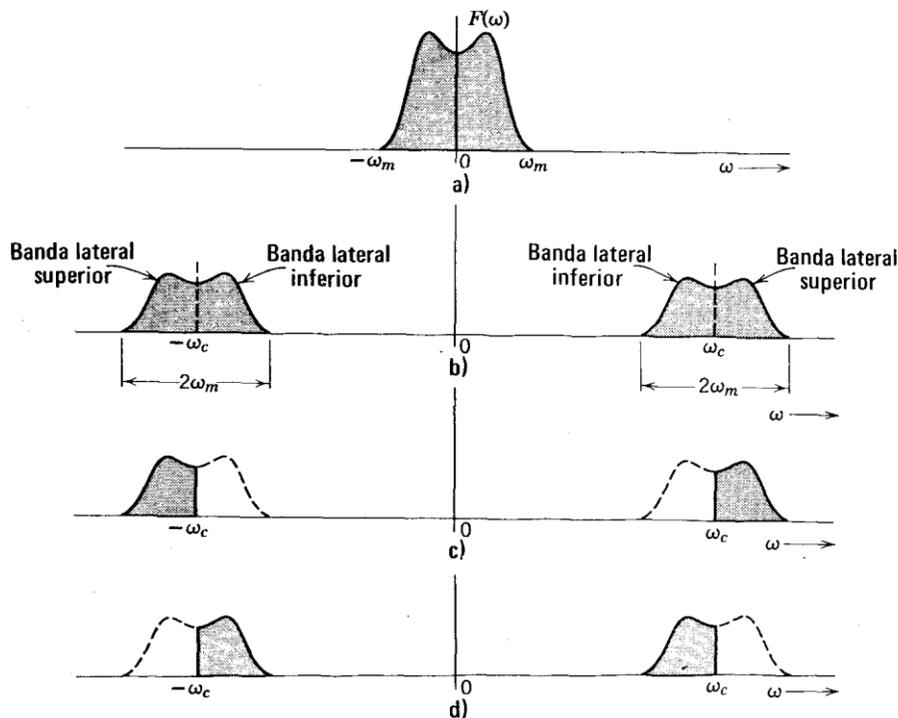


Figura 1.16

1.4.1 Generación de señales de banda lateral única

Para generar una señal de BLU solo tenemos que eliminar una de las bandas laterales de las señales moduladas que obtuvimos con los moduladores balanceados mencionados anteriormente. Se hace pasar la señal de amplitud modulada con portadora suprimida que se obtuvo con el modulador balanceado, por un filtro de paso de banda apropiado, que transmitirá las bandas laterales deseadas e impedirá el paso de las demás bandas laterales. Para que un filtro pueda desempeñar esta función deberá tener en la frecuencia ω_c , una característica muy cercana a la de un filtro ideal, es decir, una característica de corte pronunciada en ω_c con el objeto de rechazar todas las frecuencias situadas a un lado de ω_c y admitir todas las del otro lado. Desde un punto de vista práctico, es fácil diseñar un filtro con esa característica en frecuencias bajas. Por esta razón, se traslada el espectro $F(\omega)$ primero a una frecuencia menor $\pm \omega_{c1}$, en donde se elimina una de las bandas laterales; después de esto el espectro se traslada desde $\pm \omega_c$ a la frecuencia superior que se busca $\pm \omega_{c1}$. La traslación se puede llevar a cabo en pasos sucesivos. Se traslada el espectro $F(\omega)$ a una primera frecuencia baja $\pm \omega_c$ en donde se atenúa una de las bandas laterales. Debido a que la acción del filtro no es perfecta, el espectro con una sola banda en $\pm \omega_{c1}$ aun contiene algunas bandas laterales residuales indeseables; entonces, este espectro se cambia a una frecuencia intermedia ω_{c2} en donde se le vuelve a filtrar para eliminar las bandas residuales. Finalmente, el espectro se lleva a la frecuencia superior deseada ω_c .

Se simplifica mucho el problema de filtrar cuando la señal modulante no tiene un contenido importante de componentes de frecuencia baja. En esos casos los filtros de BLU no necesitan tener una característica pronunciada a la frecuencia de corte, pues la potencia de las componentes que se encuentran en la región de transición (centradas en la portadora) es despreciable. Las señales de voz es un ejemplo de lo anterior en donde las componentes de baja frecuencia son de potencia relativamente baja. En cambio, eso no sucede con las señales de televisión.

1.4.2 Método de desviación de fase

También se pueden generar señales de BLU con un método indirecto de desviación del espectro de fase. Para entender mejor, considérese primero el caso de una señal sinusoidal $f(t) = \cos \omega_s t$. Aquí $F(\omega)$ está representada por dos impulsos en $\pm \omega_s$ (figura 1.17a). La señal modulada, cuya portadora es $\cos \omega_c t$, está dada por $\cos \omega_s t \cos \omega_c t$ y su espectro $F(\omega)$ está desplazado en $\pm \omega_c$ (figura 1.17b). El espectro de BLU (banda lateral inferior) está dado por dos impulsos en $\pm (\omega_c - \omega_s)$, como vemos en la figura 1.17c. Es evidente que la señal que corresponde a este espectro de BLU (figura 1.17c) está dada por $\cos (\omega_c - \omega_s)t$. Por lo tanto, la generación de una señal de BLU, para el caso especial de $f(t) = \cos \omega_s t$ equivale a la generación de la señal $\cos (\omega_c - \omega_s)t$.

De la identidad trigonométrica, tenemos:

$$\cos(\omega_c - \omega_s)t = \cos \omega_s t \cos \omega_c t + \text{sen } \omega_s t \text{ sen } \omega_c t$$

Así, se produce la señal de BLU deseada al sumar $\cos \omega_s t \cos \omega_c t$ y $\text{sen } \omega_s t \text{ sen } \omega_c t$. Se genera fácilmente la función $\cos \omega_s t \cos \omega_c t$ con cualquier modulador balanceado de los estudiados anteriormente. Podemos expresar la función $\text{sen } \omega_s t \text{ sen } \omega_c t$ como $\cos(\omega_s t - \pi/2) \cos(\omega_c t - \pi/2)$.

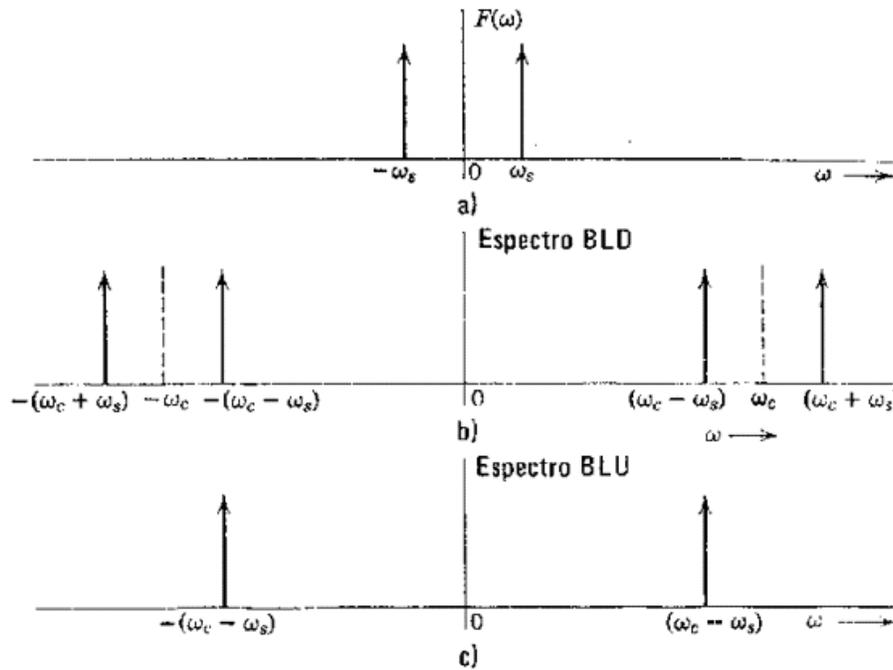


Figura 1.17

En consecuencia, esta señal puede producirse con un modulador balanceado siempre que se desplacen las fases de la señal $\cos \omega_s(t)$ y de la portadora en $-\pi/2$ (figura 1.18). Aunque se ha deducido este resultado para el caso especial de $f(t) = \cos \omega_s(t)$ también es válido para cualquier forma de onda. Esto se debe al hecho de que podemos expresar cualquier forma de onda como suma continua de señales sinusoidales (o exponenciales). Por lo tanto, la señal de BLU-PS que corresponde a $f(t)$ está dada por (figura 1.18).

$$\varphi_{BLU} = f(t) \cos \omega_s(t) + f_{\eta}(t) \text{sen } \omega_s(t)$$

En donde $f_{\eta}(t)$ es la señal que se obtiene al desviar la fase de cada componente de $f(t)$ en $-\pi/2$. El esquema de ese arreglo se muestra en la figura 1.18.

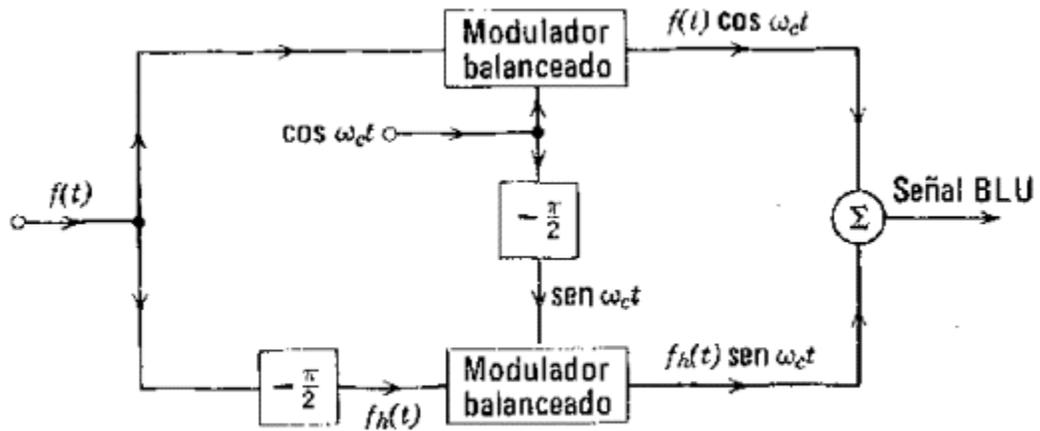


Figura 1.18 Método de desviación de fase para generar señales de BLU.

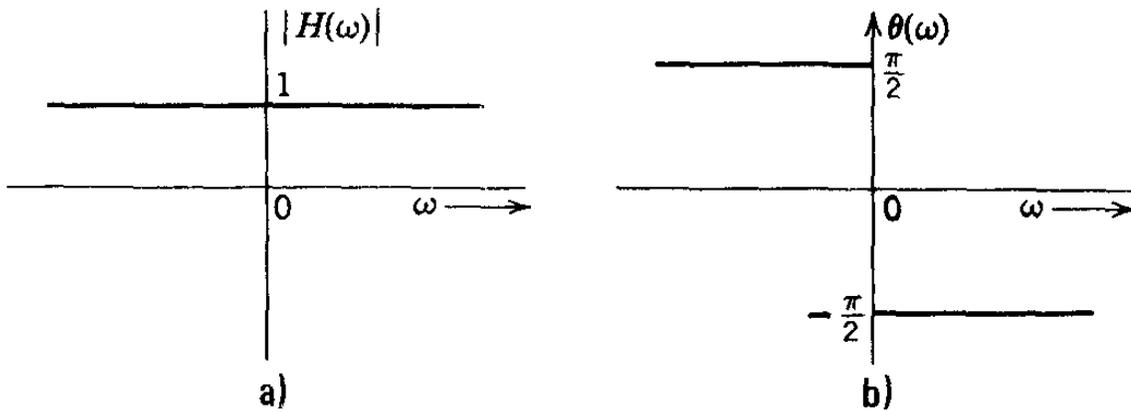


Figura 1.19

A continuación, se demostrara en forma rigurosa este resultado para cualquier señal $f(t)$. Un sistema que se emplea para desviar en $-\pi/2$ la fase de las componentes de frecuencia tiene una función de magnitud unitaria. Por tanto, las magnitudes de las componentes de frecuencia no se alteran, pero la fase de todas las componentes de frecuencia positiva queda desplazada en $-\pi/2$. Puesto que el espectro de fase es una función impar de ω , las fases de todas las componentes de frecuencia negativa están desplazadas en $+\pi/2$. Vemos el espectro de magnitud y de fase de un sistema de desviación de fase en la figura 1.19.

$$|H(\omega)| = 1$$

$$\theta(\omega) = \angle H(\omega) = \pi/2 - \pi u(\omega) \quad (1.21)$$

Por lo tanto, la función de transferencia $H(\omega)$ de este sistema de desviación de fase está dada por:

$$\begin{aligned} H(\omega) &= |H(\omega)| e^{i\theta(\omega)} \\ &= e^{i[\pi/2 - \pi u(\omega)]} = j e^{-i\pi u(\omega)} \end{aligned} \quad (1.22)$$

Y si

$$f(t) \leftrightarrow F(\omega)$$

Entonces

$$f_{\eta}(t) \leftrightarrow jF(\omega) e^{-i\pi u(\omega)} \quad (1.23)$$

Del teorema de la modulación se deduce que:

$$f(t) \cos \omega_c t \leftrightarrow \frac{1}{2} [F(\omega + \omega_c) + F(\omega - \omega_c)] \quad (1.24a)$$

Y, de las ecuaciones 1.23;

$$f_{\eta}(t) \sin \omega_c t \leftrightarrow -\frac{1}{2} [F(\omega + \omega_c) e^{-i\pi u(\omega+\omega_c)} - F(\omega - \omega_c) e^{-i\pi u(\omega-\omega_c)}] \quad (1.24b)$$

Y

$$\begin{aligned} [f_{\eta}(t) \cos \omega_c t + f_{\eta}(t) \sin \omega_c t] \leftrightarrow & \frac{1}{2} F(\omega + \omega_c) [1 + e^{-i\pi u(\omega-\omega_c)}] + \\ & \frac{1}{2} F(\omega - \omega_c) [1 - e^{-i\pi u(\omega+\omega_c)}] \end{aligned} \quad (1.25)$$

Nótese que

$$u(\omega - \omega_c) = \begin{cases} 0 & \omega < \omega_c \\ 1 & \omega > \omega_c \end{cases}$$

En consecuencia,

$$1 + e^{-i\pi u(\omega - \omega_c)} = \begin{cases} 2 & \omega < \omega_c \\ 0 & \omega > \omega_c \end{cases}$$

Pero esto, por definición es $2u(\omega_c - \omega)$ Por lo tanto,

$$1 + e^{-i\pi u(\omega - \omega_c)} = 2u(\omega_c - \omega) \quad (1.26a)$$

De igual manera

$$1 - e^{-i\pi u(\omega - \omega_c)} = 2u(\omega_c + \omega) \quad (1.26b)$$

Al sustituir la ecuación 1.26 en la ecuación 1.25, obtenemos:

$$f(t) \cos \omega_c t + f\eta(t) \sin \omega_c t \leftrightarrow [F(\omega - \omega_c) u(\omega_c - \omega) + F(\omega + \omega_c) u(\omega + \omega_c)] \quad (1.27)$$

El espectro del segundo miembro de la ecuación 1.27 representa precisamente las bandas laterales inferiores de $[F(\omega - \omega_c) + F(\omega + \omega_c)]$. El término $F(\omega - \omega_c) u(\omega_c - \omega)$ representa las bandas laterales inferiores de $F(\omega - \omega_c)$ debido a que $u(\omega_c - \omega) = 0$ para $\omega > \omega_c$ de modo que se suprime la banda lateral superior de $F(\omega - \omega_c)$. De igual manera, $F(\omega + \omega_c) u(\omega + \omega_c)$ representa la banda lateral inferior de $F(\omega + \omega_c)$, debido a que $u(\omega + \omega_c) = 0$ en $\omega < -\omega_c$ con lo cual se suprime la banda lateral superior de $F(\omega + \omega_c)$. Así, la señal de la ecuación 1.25 expresa la banda lateral inferior de la señal de BLU. El lector puede demostrar que, si en lugar de sumar, se resta $f\eta(t)\sin \omega_c t$ de $f(t)\cos \omega_c t$, la señal resultante es la banda lateral superior de la señal de BLU. Así, una señal de BLU-PS, $\phi_{BLU}(t)$ queda expresada como.

$$\phi_{BLU}(t) = f(t) \cos \omega_c t \pm f\eta(t) \sin \omega_c t \quad (1.28)$$

en donde el signo positivo en el segundo miembro genera la banda lateral inferior de la señal de BLU y el signo negativo genera la banda lateral superior. La señal $f\eta(t)$ es la respuesta del circuito de desviación de fase (figura 1.19) a la señal $f(t)$. Es fácil expresar $f\eta(t)$ en términos de $f(t)$ por medio de la ecuación 1.23.

$$f\eta(t) \leftrightarrow j F(\omega) e^{-iu(\omega)}$$

Obsérvese que

$$e^{-iu(\omega)} = \begin{cases} -1 & \omega > 0 \\ 1 & \omega < 0 \end{cases} = -\text{sgn}(\omega)$$

En consecuencia

$$f\eta(t) \leftrightarrow j F(\omega) \text{sgn}(\omega) \quad (1.29)$$

Por la ecuación **1.113**, tenemos

$$\frac{j}{\pi t} \longleftrightarrow \text{sgn}(\omega) \quad (1.30)$$

1.4.3 Demodulación de las señales de BLU-PS

Para recobrar a $f(t)$ a partir de la señal de BLU, tenemos que retrasladar el espectro de la figura 1.16c a su posición original ($\omega = 0$) lo cual se puede realizar fácilmente mediante la detección síncrona. La multiplicación de la señal de BLU por $\cos \omega_c t$ (detección síncrona) equivale a la convolucion del espectro de la misma con el espectro de $\cos \omega_c t$ (dos impulsos en $\pm \omega_c$). Esto se muestra en la figura 1.20 con respecto a las bandas laterales superiores. Es claro que la convolucion produce $F(\omega)$ y una señal adicional de BLU-PS que tiene una portadora de $2\omega_c$. Se puede eliminar la segunda parte mediante un filtro de paso bajo. Así, la demodulación de señales de BLU se lleva a cabo con la detección síncrona. Para obtener analíticamente ese resultado procedemos como sigue.

En la detección síncrona, la salida $e_d(t)$ del demodulador está dada por (de acuerdo con la ecuación 1.28)

$$\begin{aligned}
 e_d(t) &= \phi \text{BLU}(t) \cos \omega_c t = f \cos^2 \omega_c t \pm f_{\eta}(t) \text{sen } \omega_c t \cos \omega_c t \\
 &= \frac{1}{2} f(t) + [f(t) \cos 2\omega_c t \pm f_{\eta}(t) \text{sen } \omega_c t] \quad (1.31)
 \end{aligned}$$

mensaje
BLU con portadora $2\omega_c$,

La cantidad entre paréntesis en el segundo miembro de la ecuación 1.31 es idéntica a la señal de BLU de la ecuación 1.28, con la diferencia de que la frecuencia portadora es $2\omega_c$. Así, la detección síncrona de una señal de BLU produce la señal original $f(t)$ mas otra señal de BLU con una portadora de $2\omega_c$ puede eliminarse con un filtro apropiado para recobrar $f(t)$.

Se puede llevar a cabo la detección síncrona de las señales de BLU con cualquiera de los circuitos que se muestran en la figura 1.7. Para la detección síncrona hay que generar una portadora local de frecuencia ω_c con la fase correcta (en fase con la portadora de la señal recibida). Cualquier error en la frecuencia, o en la fase de la portadora local, origina una distorsión.

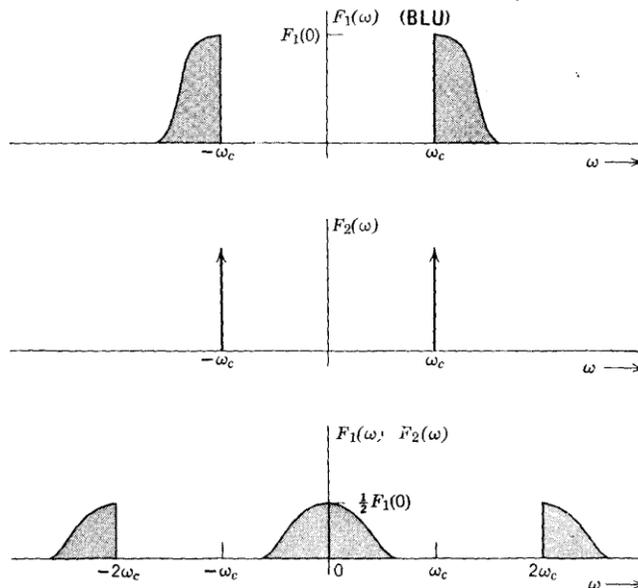


Figura 1.20 Demodulación de una señal de BLU.

1.4.4 Demodulación de BLU (con portadora de alta potencia)

Consideremos a continuación las señales de BLU con portadora de alta potencia. A esas señales se les llama señales de BLU (en contraste con las señales de BLU-PS) y se les expresa como:

$$\varphi(t) = A \cos \omega_c t + [f(t)\cos \omega_c t + f_\eta(t)\text{sen } \omega_c t]$$

Se ve fácilmente que podemos recuperar $f(t)$ a partir de $\varphi(t)$ mediante la detección síncrona [al multiplicar $\varphi(t)$ por $\cos \omega_c t$]. Sin embargo, la amplitud A de la portadora adicional es bastante grande, se recupera $f(t)$ con el detector de envolvente o rectificador. Esto se comprende mejor al expresar $\varphi(t)$ en la forma siguiente:

$$\begin{aligned} \varphi(t) &= [A + f(t)] \cos \omega_c t + f_\eta(t)\text{sen } \omega_c t \\ &= e(t) \cos (\omega_c t + \theta) \end{aligned}$$

En donde

$$e(t) = \{ [A + f(t)]^2 + f_\eta^2(t) \}^{1/2}$$

y

$$\theta(t) = - \tan^{-1} \left(\frac{f_\eta(t)}{A + f(t)} \right)$$

Es evidente que $e(t)$ es la envolvente de la señal BLU $\varphi(t)$. Si se aplica $\varphi(t)$ a la entrada del detector de envolvente, la salida será $e(t)$:

$$\begin{aligned} e(t) &= \{ [A + f(t)]^2 + f_\eta^2(t) \}^{1/2} \\ &= A \left(1 + \frac{2f(t)}{A} + \frac{f^2(t)}{A^2} + \frac{f_\eta^2(t)}{A^2} \right)^{1/2} \end{aligned}$$

Si $A \gg |f(t)|$, entonces $A \gg |f(t)|$ y los términos $f^2(t)/A^2$ y $f_\eta^2(t)/A^2$ resultan despreciables; entonces:

$$e(t) \approx A \left(1 + \frac{2f(t)}{A} \right)^{1/2}$$

Si se emplea el desarrollo del binomio y se desprecian los términos de orden mas alto [ya que $f(t)/A \ll 1$], obtenemos:

$$e(t) \approx A \left(1 + \frac{f(t)}{A} \right) \\ = A + f(t)$$

Es evidente que, con portadora de alta potencia, la envolvente de $\varphi(t)$ tiene la forma de $f(t)$ y se puede demodular la señal con un detector de envolvente. La señal de video en la difusión de televisión se transmite por BLU con portadora de alta potencia.*

1.5 Efectos de los errores de frecuencia y fase en la detección sincrona

Se pueden demodular las señales de AM mediante detectores rectificadores o de envolvente sin portadora local en el receptor. Debido al alto contenido de portadora en la señal transmitida en dichos sistemas, no es necesario generar una portadora local. Sin embargo, en AM-PS (BLD-PS y BLU-PS), hay que generar una portadora local en el receptor con el fin de producir detección sincrona. Lo ideal sería que la frecuencia de la portadora local fuese idéntica a la frecuencia de la portadora en el transmisor; de la misma manera, las fases de la portadora local y la portadora de referencia de la señal recibida deben ser iguales. Cualquier discrepancia en frecuencia y en fase de la portadora localmente generada da lugar a una distorsión en la salida del detector. Ya se ha observado el efecto del error causado por la diferencia en frecuencia de la portadora local (ecuación 1.4). Aquí, estudiaremos el tema con más detalle para las señales de BLD y BLU.

1.5.1 BLD-PS

Sean $f(t) \cos \omega_c t$ la señal recibida y $\cos [(\omega_c t + \Delta\omega)t + \Phi]$ la portadora local. En este caso los errores de la frecuencia y la fase de la portadora local son respectivamente $\Delta\omega$ y Φ . La detección sincrona se lleva a cabo al multiplicar la señal recibida por la portadora local y hacer pasar el producto a través de un filtro de paso bajo como se ilustra en la figura 1.1f. El producto $e_d(t)$ esta dado por:

$$e_d(t) = f(t) \cos \omega_c t \cos [(\omega_c t + \Delta\omega)t + \Phi] \\ = \frac{1}{2} f(t) \{ \cos [(\Delta\omega)t + \Phi] + \cos [(2\omega_c + \Delta\omega)t + \Phi] \} \quad (1.32)$$

El segundo término del segundo miembro representa la señal con el espectro centrado en una frecuencia alta ($2\omega_c + \Delta\omega$) y se elimina mediante un filtro de paso bajo con frecuencia de corte ω_m (figura 1.1f). La salida del filtro esta dada por

$$e_d(t) = \frac{1}{2} f(t) \cos [(\Delta\omega)t + \Phi] \quad (1.33)$$

A partir de esta ecuación, es evidente que la señal de salida no es solamente

$f(t)$ sino $f(f)$ multiplicada por otra función del tiempo; por lo tanto, la señal de salida esta distorsionada. Nótese que, si $\Delta\omega$ y Φ son cero (si no hay error de fase o de frecuencia), entonces

$$e_0(t) = \frac{1}{2}f(t)$$

Como era de esperarse.

Considérense los dos casos especiales siguientes:

1. $\Delta\omega = 0$ y $\Phi \neq 0$ (error de fase solamente)
2. $\Delta\omega \neq 0$ y $\Phi = 0$ (error de frecuencia solamente)

Si $\Delta\omega = 0$, la ecuación 1.33 se reduce a:

$$e_0(t) = \frac{1}{2}f(t) \cos \Phi$$

Evidentemente, esta salida es proporcional a $f(t)$ cuando Φ es una constante. La salida es máxima cuando $\Phi=0$ y es mínima (cero) cuando $\Phi = \pm \pi/2$. Así, el error de fase en la portadora local causa una atenuación de la señal proporcional al coseno de dicho error. Sin embargo, no existe distorsión en la forma de onda de la señal, sino solo atenuación, siempre y cuando Φ sea constante. Desafortunadamente, como consecuencia de las variaciones en la trayectoria de propagación debidas a cambios aleatorios en las condiciones de la ionosfera, el error de fase Φ por lo general varía en forma aleatoria con el tiempo. Esto conduce a variaciones del mismo tipo en la fase de la señal de entrada, que a su vez, causan que la diferencia de fase entre esta señal y la portadora local varíe aleatoriamente en función del tiempo. Así, el factor de ganancia $\cos \Phi$ en el receptor varía en forma aleatoria, lo cual es claramente indeseable.

En seguida, consideremos el caso para el cual $\Phi = 0$ y $\Delta\omega \neq 0$. La ecuación 1.33 se transforma en:

$$e_0(t) = \frac{1}{2}f(t) \cos (\Delta\omega)t$$

Aquí, la salida no es una replica atenuada de la señal original sino que esta distorsionada. Puesto que $\Delta\omega$ suele ser pequeño, la salida es la señal $f(t)$ multiplicada por una senoide de frecuencia baja; $f(f)$ sufre una atenuación variable en el tiempo. Esto constituye un tipo de distorsión muy grave; en consecuencia, es importante que los osciladores locales estén sincronizados adecuadamente lo que se lleva a cabo con diferentes circuitos de retroalimentación. Se pueden obtener los errores de fase y de frecuencia necesarios para que funcione el circuito de retroalimentación a partir de un sistema como el de la figura 1.21. Aquí, la salida del oscilador local se divide en

dos componentes en cuadratura (coseno y seno). La salida $e_1(t)$ es el producto de la señal de entrada $f(t)$ con ω_{ct} por la portadora local $\cos(\omega_{ct} + \Phi)$ después de

Pasar por un filtro de paso bajo que elimina las componentes de frecuencias superiores a ω_m radianes por segundo.

$$f(t) \cos \omega_{ct} \cos(\omega_{ct} + \Phi) = \frac{1}{2}f(t)e_{1(t)} \cos \Phi + \frac{1}{2}f(t) \cos(2\omega_{ct} + \Phi)$$

eliminado por el filtro de paso bajo

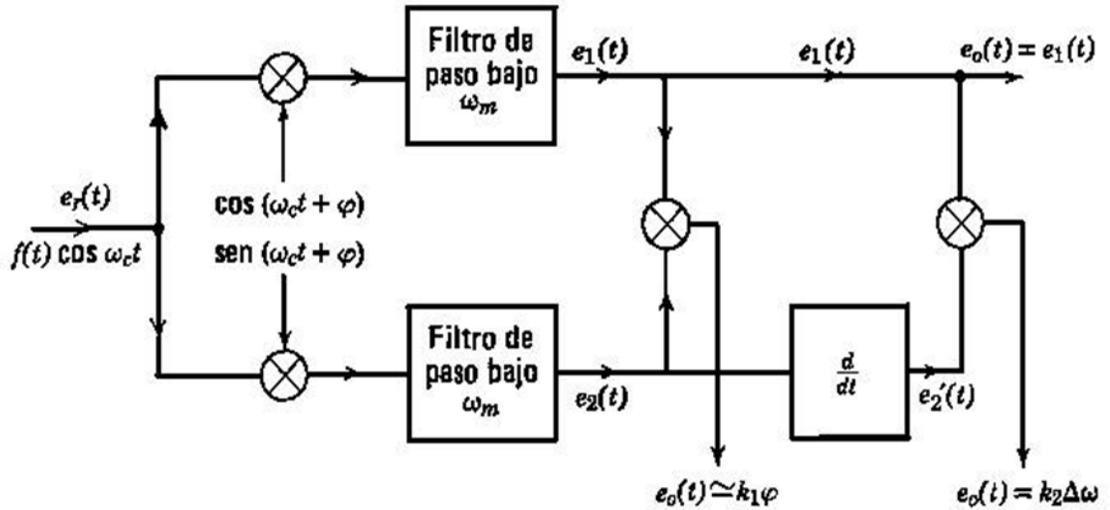


Figura 1.21

Así

$$e_1(t) = \frac{1}{2}f(t) \cos \Phi$$

de igual manera, vemos que

$$e_2(t) = \frac{1}{2}f(t) \sin \Phi$$

El producto $e_1(t) e_2(t)$ está dado por

$$\begin{aligned} e_1(t) e_2(t) &= \frac{1}{4}f^2(t) \cos \Phi \sin \Phi \\ &= \frac{1}{8} f^2(t) \sin 2\Phi \\ &\approx \frac{1}{4} f^2(t) \Phi \quad \text{cuando } \Phi \ll 1 \end{aligned}$$

Así, la salida es proporcional al error de fase 0. La polaridad de la salida depende de que el error de fase sea positivo o negativo. Esta señal actúa como voltaje de control para ajustar la fase del oscilador local. El circuito no solo controla la fase, sino también la frecuencia del oscilador en un rango reducido.

Si diferenciamos la señal $e_2(t)$ y la multiplicamos después por $e_1(t)$, se puede demostrar que la salida $e_1(t) e_2(t)$ es proporcional al error de frecuencia. Esto se deduce del hecho de que el cambio instantáneo de frecuencia de una señal está dado por la rapidez del cambio de fase. Entonces, el error instantáneo de frecuencia de la señal $\cos(\omega_c t + \Phi)$ es evidentemente $d\Phi/dt$. $\Delta\omega = d\Phi/dt$. Se tiene que:

$$e_2'(t) = \frac{de_2}{dt} = \frac{1}{2} \left[f(t) \cos \Phi \frac{d\Phi}{dt} + f'(t) \sin \Phi \right]$$

CAPÍTULO 2 PARÁMETROS DE LA RED ELÉCTRICA Y EQUIPOS DE MONITOREO

Las telecomunicaciones desempeñan una función de primordial importancia en la implantación de modernos sistemas de automatización Industrial. Esta función es vital para aquellas empresas cuyas operaciones se encuentran dispersas geográficamente, como es el caso de los sistemas de distribución de energía.

La telemedición es el uso de equipos eléctricos o electrónicos para detectar, acumular y procesar datos físicos en un lugar, para después transmitirlos a una estación remota donde pueden procesarse y almacenarse. Un ejemplo de la utilidad de la telemedición es la medición, transmisión y procesamiento de magnitudes físicas en sistemas de automatización de procesos industriales. Estos datos pueden ser, por ejemplo, la temperatura, la velocidad de un líquido en una tubería, etc... Estas magnitudes son las denominadas variables de campo, que para el estudio que se está realizando serían, por ejemplo: la temperatura, la tensión, la corriente de una determinada subestación, etc.

2.1. Descripción general sobre la Red PLC

El sistema de telemedición PLC se basa en el intercambio de datos a través de la Red de energía eléctrica. Esto se realiza automatizando las actividades manuales y repetitivas pudiendo de esta manera no depender de ninguna intervención humana.

El sistema utilizado que se muestra en la Figura (2.1), se denomina "maestro - esclavo" y consta básicamente de los siguientes bloques:

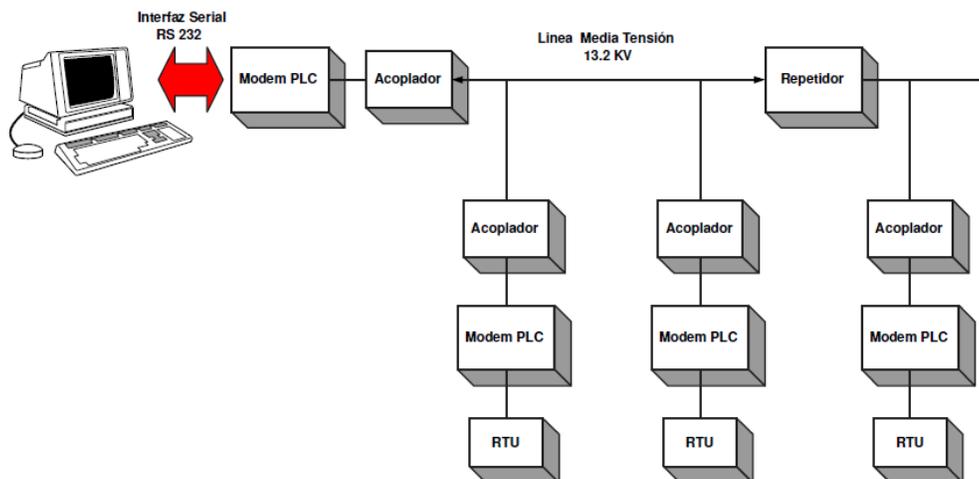


Figura 2.1: Esquema general

El Computador Central (Host) es el encargado de todas las decisiones del sistema (maestro). El Modem PLC es el encargado de acondicionar las señales para la transmisión o recepción según lo requiera el Computador Central. Los acopladores de línea se encargan de inyectar la señal a través de la Red eléctrica. Las RTU

2.2. Sistema de telemedición usados por PLCs.

(Unidades Remotas) son los dispositivos que se instalan en el lugar en donde se debe realizar la medición.

El sistema de telemedición ofrece muchas ventajas sobre el sistema de medición convencional realizado manualmente. La mayor ventaja, es que se está relevando periódicamente el estado de las variables de los dispositivos que constituyen el sistema, algo que manualmente sería casi imposible de realizar, debido al costo económico que esto requeriría por la cantidad de dispositivos presentes en la Red eléctrica.

Otra ventaja es la identificación de algún inconveniente de manera casi instantánea, pudiendo tomar decisiones a distancia logrando que el problema se resuelva mucho más rápido. Se puede citar como dato relevante, la conveniencia de mantener un canal propio PLC de baja capacidad, no compartido con otros usuarios.

Como ventajas secundarias, podemos mencionar que este sistema permite que los datos actuales de los dispositivos puedan ser contrastados con sus datos históricos, para poder determinar si hay alguna falencia en el rendimiento de los mismos.

La disposición de nuestro sistema está dado en forma de Red de difusión en donde lo que el Computador Central transmite llega de forma automática al resto de las estaciones que están en la misma Red física.

El modo de transmisión es en forma serial half - dúplex en el cual cada nodo puede transmitir o recibir, pero no al mismo tiempo. Cuando uno está enviando, el otro está recibiendo y viceversa.

La Figura (2.1) muestra el diagrama en bloques de un circuito de comunicación de datos multipunto, que utiliza una topología bus. Este arreglo es una de las configuraciones más usadas para los circuitos de comunicación de datos. En la estación primaria hay un Computador Central (Host, maestro) y en cada una de las otras estaciones secundarias (esclavas) hay una Unidad Remota (RTU). El hardware y la circuitería asociada, que conecta al Computador Central a las terminales de Unidades Remotas se denominan enlace de comunicación de datos. Un arreglo como este, se llama Red Centralizada; hay una estación ubicada centralmente (Host) con la responsabilidad de asegurar un flujo ordenado de

datos, entre las estaciones remotas y ella misma. El flujo de datos es controlado por un programa de aplicaciones que está almacenado en el Computador Central.

En la estación primaria hay un Computador Central y un MODEM de datos. En cada sección secundaria hay un MODEM y la correspondiente RTU. La estación primaria tiene la capacidad de almacenar, procesar y/o retransmitir los datos que recibe de las estaciones secundarias. La estación primaria también almacena el software necesario para el manejo de datos.

2.3. Componentes de la Red PLC

El Computador Central es el encargado de "interrogar" a las diferentes Unidades Remotas (RTU) el estado de las variables presentes en las diferentes subestaciones conectadas a la Red, tales como temperatura, tensión, corriente, frecuencia, etc. Al ser una Red de difusión, "todos escuchan todo" pero solamente responde aquel que tenga la dirección requerida por el Computador Central.

Este, se comunica con el MODEM PLC a través de una interfaz serial RS-232. La tarea del MODEM es la modulación de la señal transmitida y la demodulación de la señal recibida.

La señal que transmite o recibe el MODEM es inyectada a través de un acoplador de línea. Este, aparte de ser el dispositivo que inyecta la señal de PLC en la línea de energía, también se encarga de proteger al circuito de posibles sobretensiones debido a diferentes factores. La comunicación de la RTU con el Computador Central es también a través de un MODEM PLC y un Acoplador utilizando una interfaz serial entre la RTU y el MODEM. La Unidad Remota RTU es la interfaz con los dispositivos de campo, se la puede considerar como los ojos, oídos y manos de una estación maestra. Junto a las RTU se encuentran los denominados transductores que en general, son unos dispositivos que convierten una forma de energía en otra.

En particular, un transductor eléctrico, convierte la magnitud de una variable física en una señal eléctrica proporcional, de tal manera que el resultado de la operación pueda ser utilizado como información útil y representativa de dicha cantidad. Debe existir una relación conocida entre la entrada y la salida del transductor.

2.3.1. Comunicación de datos

La información codificada es representada a través de bits, la cual puede ser una eventual señal de control. Los bits pueden transmitirse secuencialmente, que es lo que se conoce como forma serial, o agrupados en palabras, que sería en forma paralela. Los motivos que determinan el uso de una u otra forma de transmisión, claramente responden a las necesidades de velocidad y rendimiento económico. A continuación se mencionan los dos tipos de transmisión y seguido a esto se describen sus características principales:

- (a) Transmisión de datos en paralelo
- (b) Transmisión de datos en serie

Transmisión de datos en paralelo

La comunicación paralela transmite todos los bits de un dato de manera simultánea, lo que implica tantos canales de comunicación como bits contenga el elemento base, por lo tanto la velocidad de transferencia es rápida, sin embargo tiene la desventaja de utilizar una gran cantidad de líneas, debido a esto, se vuelve más costoso y además se atenúa a grandes distancias por la capacitancia entre conductores, así como sus parámetros distribuidos. Se usa básicamente para transmisiones en distancias muy cortas.

Transmisión de datos en serie

Los datos son transferidos bit a bit utilizando un único canal. Es la forma normal de transmitir datos a larga distancia, ya que la instalación de tantas líneas de comunicación (datos en paralelo), como bits tiene una palabra a lo largo de un país, sería un coste inabordable. Las computadoras internamente manejan la información agrupadas en palabras, conjuntos de bits, y deben realizar una conversión para serializar la información. Esto es realizado por circuitos integrados de uso específicos y doble, ya que son capaces de convertir en una secuencia lineal una palabra, y a la vez convertir en palabra, los bits que van obteniendo uno a uno de una línea de comunicación serie.

Modos de operación: sincrónica/asíncrona.

Existen dos tipos de comunicaciones seriales: la sincrónica y la asíncrona.

En la comunicación serial sincrónica, además de una línea sobre la cual se transmitirán los datos se necesita de una línea la cual contendrá los pulsos de reloj que indicaran cuando un dato es válido.

En el modo de operación asíncrona, se transmite un carácter de código a la vez.

Cada carácter de código incluye dígitos de arranque, paridad y parada, denominados dígitos redundantes". Estos dígitos redundantes indican al receptor el comienzo de un carácter, donde termina y un dato adicional (la paridad), para efectos de detección de error; todos los dígitos tienen la misma duración, excepto el de parada, cuya duración es variable (una, una y media o dos veces la duración de los otros) según la aplicación. El carácter de código contiene también de 5 a 8 dígitos de información; este campo de información permite entonces codificar la información en Baudot, ASCII o en EBCDIC. La longitud máxima del carácter de código es de 11 dígitos binarios.

Los dos extremos, transmisor y receptor, tienen relojes independientes de la misma frecuencia nominal, de esta forma se realiza el sincronismo de bit. La información se transmite carácter a carácter, precedidos de un bit a "0" o bit de START y terminados por al menos, un bit a "1" denominado de STOP (pueden ser también 1,5 o 2 bits STOP). Esta es la forma de establecer el sincronismo de carácter. Entre dos caracteres consecutivos puede mediar cualquier separación, permaneciendo todo el tiempo la línea en estado "1". El sincronismo de bit se consigue arrancando el reloj de recepción cuando se detecta el bit de START. Debido a que el reloj se inicializa para cada carácter, las posibles derivas de frecuencia respecto al reloj emisor tienen poca importancia. El sincronismo de carácter está implícito en el propio método de transmisión, ya que se produce carácter a carácter.

2.4. Redes de distribución de energía.

Las redes de distribución eléctrica domiciliarias y las instalaciones eléctricas en casas y oficinas, no fueron diseñadas para llevar datos a gran velocidad y en altas frecuencias. Estas redes se diseñaron para llevar tensiones y corrientes altas con frecuencias bajas (220V 50Hz en Argentina, 120V 60Hz en EE UU) para poder entregar a los consumidores importantes cantidades de energía.

A varias limitaciones, y de esta manera proporcionar conexiones de datos entre distintos puntos de la Red Eléctrica. En general esta última no está apantallada, por lo que emite radiofrecuencia, pudiendo provocar interferencia en otros sistemas de radiocomunicaciones.

En una Red Eléctrica, como se muestra en la fig. 2.2, la conexión y desconexión de equipos de distintos tipos es muy frecuente, y no hay características físicas bien definidas referidas a estos picos y valles de carga, creando un ambiente electromagnético particular. La impedancia que desbalancea los dispositivos conectados a la Red, puede resultar insignificante para la Red Eléctrica misma, sin embargo, la pérdida de señal para las comunicaciones de datos a determinadas frecuencias y situaciones de carga de potencia, provoca que algunas de estas frecuencias prácticamente desaparezcan. La atenuación sufrida en estos "ceros", cambiara dependiendo donde estén ubicados los dispositivos interconectados y que otros dispositivos (aparatos, etc.) se conectan a la Red.

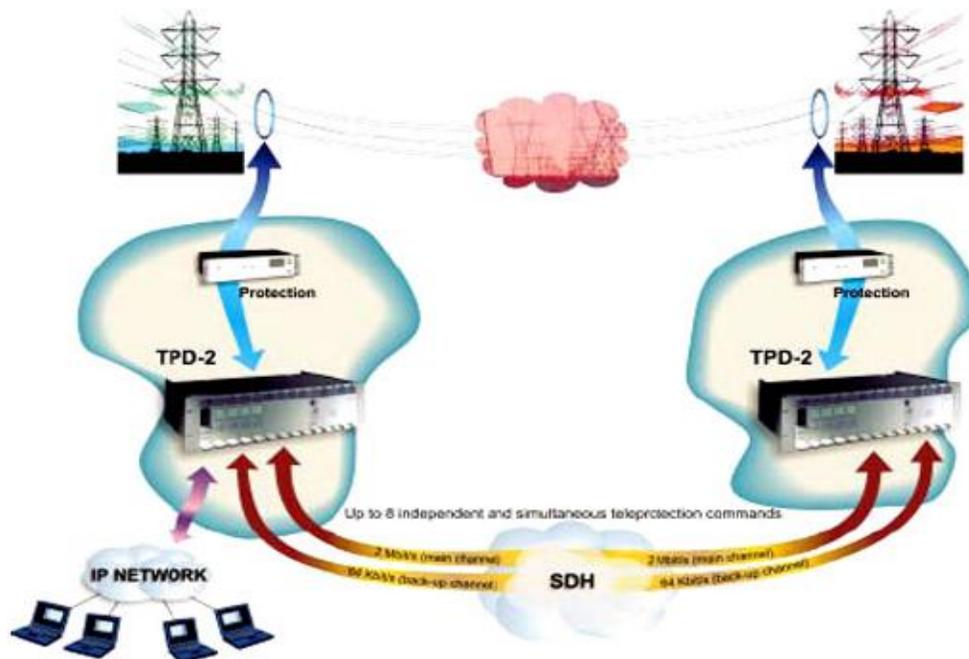


Figura 2.2 Control de datos por redes de distribución

Se puede considerar que la línea de transmisión es un elemento del sistema de Potencia. A las líneas de transmisión de potencia aérea se las pueden clasificar de la siguiente manera.

- líneas de longitud corta.
- líneas de longitud media.
- líneas de longitud larga.

2.4.1 Circuito equivalente de una línea de transmisión

Las características de una línea de transmisión se determinan por sus propiedades dieléctricas, como la conductancia de los cables y la constante dieléctrica del aislante, y sus propiedades físicas como el diámetro del cable y los espacios del conductor. Estas propiedades, a su vez, determinan las constantes eléctricas primarias; resistencia de CD en serie (R), inductancia en serie (L), capacitancia de derivación (C), y conductancia de derivación (G). La resistencia y la inductancia ocurren a lo largo de la línea y constituyen la impedancia serie, mientras que entre los dos conductores, ocurre la capacitancia y la conductancia que corresponden a la admitancia en paralelo. Las constantes primarias se

distribuyen de manera uniforme a lo largo de la línea, y por lo tanto, se les llama comúnmente parámetros distribuidos. Para simplificar el análisis, los parámetros distribuidos típicamente, se agrupan por una longitud unitaria, dada para formar un modelo artificial de la línea. Por ejemplo la resistencia en serie generalmente se da en ohms por milla o km. La Figura (2.3) muestra el circuito equivalente eléctrico para una línea de transmisión, de dos cables, metálica, indicando el lugar relativo de los distintos parámetros agrupados. La conductancia entre los dos cables se muestra en una forma recíproca y se indica como una resistencia de derivación dispersa (R_s).

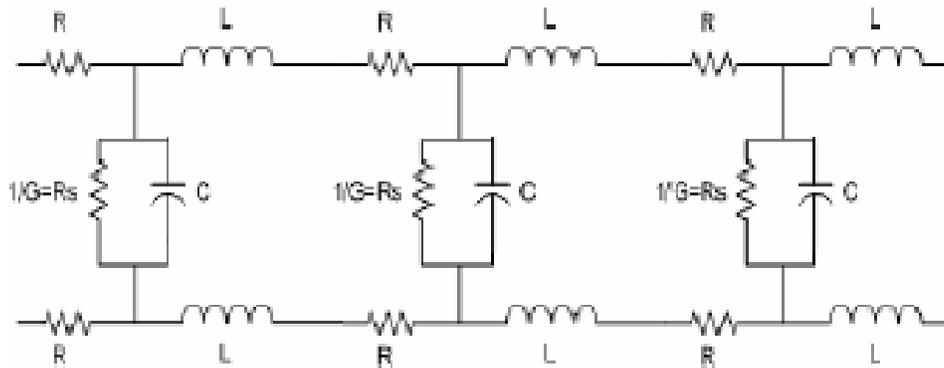


Figura 2.3 Circuito Equivalente Eléctrico.

Si la línea aérea se clasifica como corta, la capacitancia en derivación es tan pequeña, que se puede omitir por completo con una pérdida de exactitud insignificante, considerando solamente la resistencia R y la inductancia L en serie para la longitud total de la línea.

Una línea de longitud media se puede representar con suficiente exactitud con R y L como parámetros concentrados, con la mitad de la capacitancia al neutro de la línea concentrada en cada terminal del circuito equivalente. Por lo general la conductancia en derivación G se desprecia cuando se calcula la tensión y la corriente de líneas de transmisión de potencia. Si los capacitores se omiten, el mismo circuito representa las líneas cortas.

En lo que se refiere a la capacitancia, se considera como corta las líneas de 50Hz de conductor abierto que tienen menos de 80 km. de longitud. Las líneas de longitud media son las que están entre 80 km. y 240 km. Las líneas que tienen más de 240 km. requieren de cálculos en términos de constantes distribuidas, si se necesitan un alto grado de exactitud, aunque para algunos propósitos, se puede usar una representación de parámetros concentrados para líneas de hasta 320 km. de largo.

2.4.2 Características de una línea de transmisión

Las características de una línea de transmisión se denominan constantes secundarias y se determinan con las cuatro constantes primarias. Las constantes secundarias son la Impedancia Característica y la Constante de Propagación.

Impedancia Característica.

Para una máxima transferencia de potencia, desde la fuente a la carga (o sea sin energía reflejada), una línea de transmisión debe terminarse en una carga puramente resistiva igual a la Impedancia Característica de la línea. La Impedancia Característica (Z_0) de una línea de transmisión, es una cantidad compleja que se expresa en (Ω), que idealmente es independiente de la longitud de la línea, y que no puede medirse. La Impedancia Característica (que a veces se llama resistencia de descarga), se define como la impedancia que se ve desde una línea infinitamente larga, o la impedancia que se ve desde el largo finito de una línea, que se termina en una carga totalmente resistiva, igual a la Impedancia Característica de la línea. Una línea de transmisión almacena energía en su inductancia y capacitancia distribuida.

Si la línea es infinitamente larga, puede almacenar energía indefinidamente; está entrando energía a la línea desde la fuente y ninguna se regresa, por lo tanto, la línea actúa como un resistor que disipa toda la energía. Se puede simular una línea infinita, si se termina una línea finita con una carga puramente resistiva igual a Z_0 ; toda la energía que entra a la línea desde la fuente se disipa en la carga (esto supone una línea totalmente sin pérdida). Matemáticamente la Impedancia Característica es:

$$Z_0 = \frac{E_s}{I_s} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} \quad (2.1)$$

Constante de Propagación.

La Constante de Propagación (a veces llamado el coeficiente de propagación), se utiliza para expresar la atenuación (pérdida de la señal) y el desplazamiento de fase por unidad de longitud de una línea de transmisión. A medida que se propaga una onda a lo largo de una línea de transmisión, su amplitud se reduce con la distancia viajada. La Constante de Propagación se utiliza para determinar la reducción en tensión o corriente de la distancia, conforme una onda electromagnética se propaga a lo largo de una línea de transmisión. Para una línea infinitamente larga toda la potencia incidente se disipa en la resistencia del cable, conforme la onda se propague a lo largo de la línea. Por lo tanto con una línea infinitamente o una línea que se ve como infinitamente larga, o sea, como una línea infinita que termina en una carga acoplada ($Z_0 = Z$), no se refleja ni se

regresa energía nuevamente a la fuente. Matemáticamente la Constante de Propagación es.

$$\gamma = \alpha + j\beta \quad (2.2)$$

En donde γ es la Constante de Propagación, α es el Coeficiente de Atenuación (dB/km), β es el Coeficiente de Desplazamiento de Fase (rad/km).

La Constante de Propagación es una constante definida por.

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} \quad (2.3)$$

A frecuencias de radio e intermedias $\omega L > R$ y $\omega C > G$; por lo tanto.

$$\alpha = \frac{R}{2Z_0} + \frac{GZ_0}{2} \quad (2.4)$$

$$\beta = \omega\sqrt{LC}. \quad (2.5).$$

Transitorios en la línea de transmisión

Las sobretensiones transitorias que ocurren en un sistema de potencia, son de origen externo (por ejemplo las descargas atmosféricas o rayos) o bien se generan internamente por las operaciones de maniobra. En general, los transitorios de los sistemas de transmisión se originan debido a cualquier cambio repentino en las condiciones de operación o configuración de los sistemas. Los rayos son siempre un potencial de peligro para los equipos de los sistemas de potencia, pero las operaciones de maniobra pueden también causar su daño. Para tensiones de hasta 230 kV, el nivel de aislamiento de las líneas y del equipo está determinado por la necesidad de protegerlos de los rayos. En los sistemas con tensión de más de 230 kV, pero con menos de 700 kV, las operaciones por maniobra y los rayos, son los que potencialmente dañan los aislamientos. Para las tensiones superiores a 700 kV las sobretensiones por maniobra son el factor determinante del nivel de aislamiento.

En la mayoría de los casos las líneas aéreas se protegen de las descargas atmosféricas directas, a través de uno o más conductores que estén al potencial de tierra y extendidos por arriba de los conductores de potencia. Estos

conductores protectores, llamados hilos de guarda o de blindaje, se conectan a la tierra a través de las torre de transmisión que sostienen las líneas.

Cable de Media Tensión/Alta Tensión.

Los cables y alambres tienen a menudo que satisfacer requisitos muy diferentes a lo largo de su ruta. Antes de decidir el tipo de sección transversal, uno debe examinar las funciones eléctricas en particular y también los factores climáticos y operacionales, factores que influyen en la habilidad del sistema y en los parámetros de la comunicación esperados.

La Figura (2.4) muestra la construcción de un cable de alta tensión apantallado

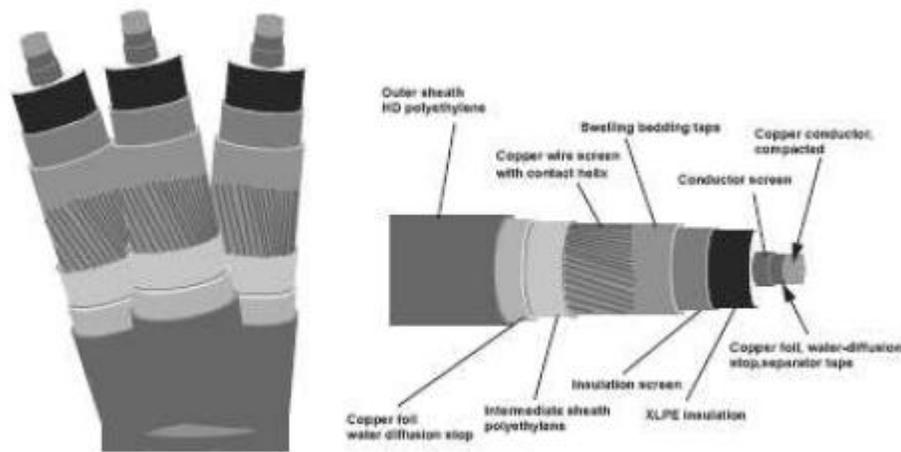


Figura 2.4: Ejemplo de un cable de Media Tensión de 3 núcleos.

En general puede decirse que cada cable apantallado aislado es suficiente para este tipo de medio de comunicación. Si se blindan los cables en uso, no debe haber cortocircuitos entre la pantalla y el blindaje del cable, detrás de los primeros 100 mts. Luego del punto de inyección de la señal.

2.5. Deterioro de la señal PLC.

Contrariamente a lo que sucede con otros canales de comunicaciones, el ruido en el canal de las líneas de energía no se puede representar como un ruido blanco gaussiano aditivo. Si la cantidad de las señales que interfieren son demasiadas grandes, con respecto a la señal atenuada y a la señal distorsionada, los receptores tendrán dificultades para reproducir la información original con fiabilidad suficiente.

Varias de las señales que interfieren se generan de las cargas conectadas, debido a muchas interconexiones, diferentes tipos de conductor y, por lo tanto, tienen diferentes orígenes y características. Debajo se presentan los cuatros tipos principales de ruido, presentes en un canal de comunicación (Figura 2.5) sobre una línea de energía

Ruido impulsivo.

Este tipo de ruido está caracterizado por picos de tensión muy potentes pero de corta duración, y pueden producir impulsos que saturan cualquier receptor por períodos de alrededor de 10 a 100 μ seg. y pueden alcanzar magnitudes de hasta 2 kV.

Estos impulsos tienen tiempos de subida muy rápidos y son virtualmente imposibles de filtrarlos. Los impulsos son generalmente periódicos con dos veces la frecuencia de la línea de energía, entre 100 o 120 Hz, y muchos ocurren durante medio ciclo, debidos a la conmutación de varias cargas. La Red y sus cargas unidas poseen inductancia y capacitancia que pueden producir resonancia en una frecuencia, que depende de la carga instantánea, produciendo atenuación de las formas de onda que duran varios ciclos en las frecuencias de comunicaciones. El ruido impulsivo aparece solo como un acontecimiento único y es causado por todas las operaciones de conmutación, tales como los cierres de contactos. Este tipo de ruido se modela como una señal de impulso debido a su presencia relativamente corta.

Ruido Síncrono.

A este ruido se lo denomina así, ya que está en sincronía con la frecuencia del Sistema de energía (50Hz). Normalmente este ruido es causado por los rectificadores controlados de silicio (SCR), el cual conmuta cuando la tensión cruza un cierto valor.

Este ruido es considerado como un fenómeno que no ocurre regularmente, pero una vez que sucede puede durar muchas horas. El nivel de ruido normalmente no excede los -70 dBW por cada armónico.

Ruido de fondo

Este ruido está siempre presente y generalmente está dado por un espectro plano. Es de naturaleza estocástica y tiene una densidad espectral de energía relativamente baja, de este modo puede ser modelado como ruido blanco limitado en banda con distribución gaussiana.

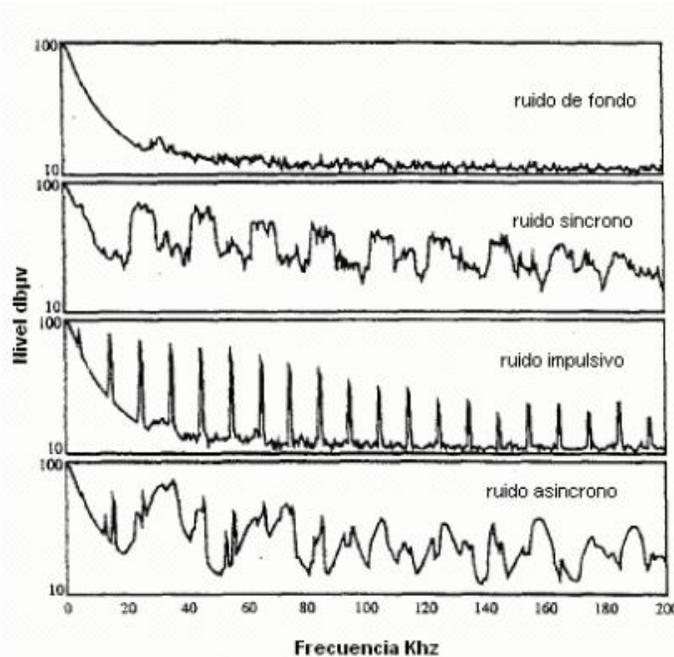


Fig. 2.5D Diferentes tipos de ruido.

Ruido Asíncrono

Como el nombre sugiere, estos tipos de ruidos son los que no tienen relación con la frecuencia de la Red o armónicos superiores. Las fuentes de ruidos más importantes para este caso, son los monitores de televisión y los de computadoras, producto de la exploración y sincronización de las señales en este tipo de aplicaciones. Una característica de este ruido es que ellos ocurren a frecuencias conocidas, como por ejemplo los sistemas de televisión (PAL) a la frecuencia 15625 Hz y armónicos superiores. El ruido de banda estrecha también se encuentra dentro de esta categoría, este ruido consiste en señales sinusoidales de amplitud modulada. La fuente de este tipo de ruido son las estaciones de radio y las variaciones del nivel del mismo, según la hora del día.

El ruido de fondo mostrado en la Figura (2.5) representa una forma típica de esta clase. En la Figura también se muestra el ruido sincrónico, en donde se puede visualizar los armónicos de la frecuencia de la Red. El ruido impulsivo se distingue de los demás debido a la característica de la señal, la cual presenta picos de gran

amplitud y corta duración de tiempo. El ruido asíncrono, tiene una densidad espectral aleatoria.

Aparte de la atenuación del cable, de los cuatro tipos de ruido descritos arriba, la desadaptación de impedancias y las reflexiones causadas por diversos tipos y tamaños de cable de transmisión, contribuyen a la interferencia total.

2.6 Métodos de Acoplamiento de la señal.

Las tecnologías de Acoplamiento para líneas de media tensión son un factor decisivo para el diseño de una Red PLC. Las características principales son: el costo que debe ser razonable para la aplicación dada y las dimensiones que deben ser pequeñas de manera que puedan ser instalados en las subestaciones transformadoras, donde el espacio permitido es reducido.

Hay tres tipos básicos de Acoplamientos de señales a líneas de media tensión:

- Inductiva por medio de la pantalla del cable.
- Inductiva por medio del núcleo.
- Capacitiva por medio del núcleo.

Los primeros dos métodos (inductivos) se acoplan a la línea por corriente y el último mediante tensión a través del núcleo.

Otras aproximaciones como el acoplador direccional o el acoplamiento por medio de un transformador al núcleo son deficientes o demasiado costosos.

2.6.1 Esquemas de Acoplamientos Capacitivos por medio del núcleo.

Los Acoplamientos Capacitivos (Figura 2.6) para tecnología PLC sobre líneas de media tensión, son unidades altamente compactas que incluyen en los mismos dispositivos, el condensador de acoplo y el circuito de sintonía. Estos dispositivos maximizan el ancho de banda disponible y optimizan la adaptación de impedancias entre la línea de media tensión y el equipo de comunicaciones. El alto aislamiento brinda la más completa seguridad, ya sea dando protección a los operarios y/o a los equipos de comunicaciones. Estos tipos de acoplamiento son muy utilizados para líneas aéreas, y el costo es razonable para este tipo de aplicaciones.

2.6.2 Esquemas de Acoplamientos Inductivos.

El Acoplamiento Inductivo puede ser un método muy utilizable conociendo exactamente las características de la Red y si hay un profundo conocimiento de la propagación de la señal. Hay tres tipos principales de Acopladores Inductivos utilizados para inyectar la señal.

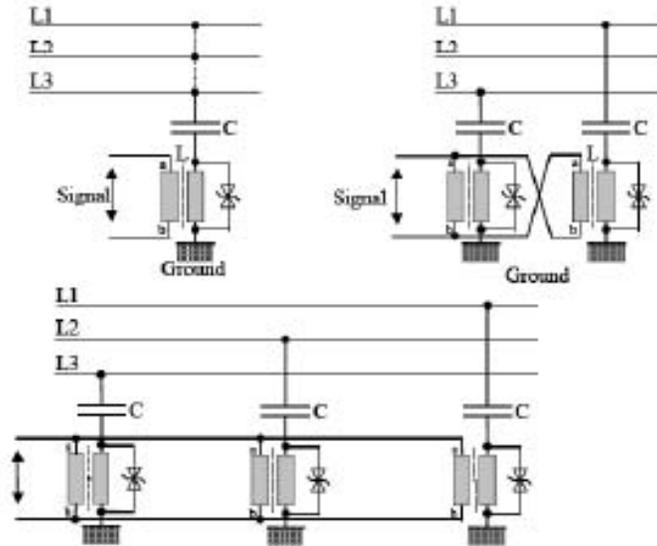


Fig. 2.6. Acoplamientos capacitivos para líneas de media tensión

- 1) Acoplamiento "invasivo" por medio de la pantalla (Figura 2.7) del cable: este método realiza la comunicación entre la tierra y la pantalla, como si fuera un sistema de un solo conductor.

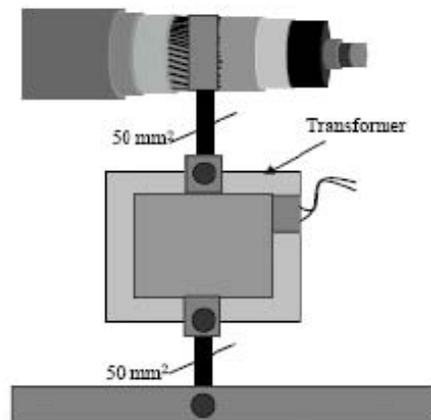


Fig. 2.7 Acoplamiento "invasivo" por medio de la pantalla.

- 2) Acoplamiento "no invasivo" por medio de la pantalla (Figura 2.8) del cable:

Este método realiza la comunicación entre tierra y la pantalla, como si fuera un sistema de un solo conductor. Este método es igual que el anterior pero entrega normalmente una señal más débil.

3) Acoplamiento “no invasivo” por medio del núcleo (Figura 2.9) del cable: este método trabaja sobre todos los cables, pero tiene una gran desventaja con respecto.

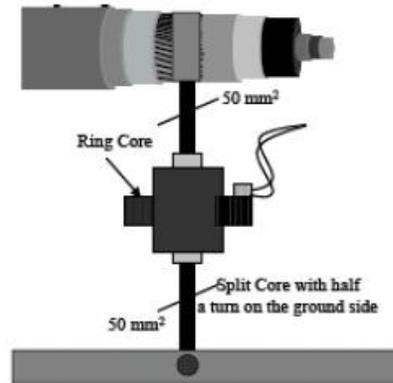


Fig. 2.8 Acoplamiento “no invasivo” por medio de la pantalla

A los otros acoplamientos, que se refiere a la gran debilidad de este, o bien, que el acoplador muestre una alta dependencia de la corriente en el conductor debido a la saturación magnética del núcleo.

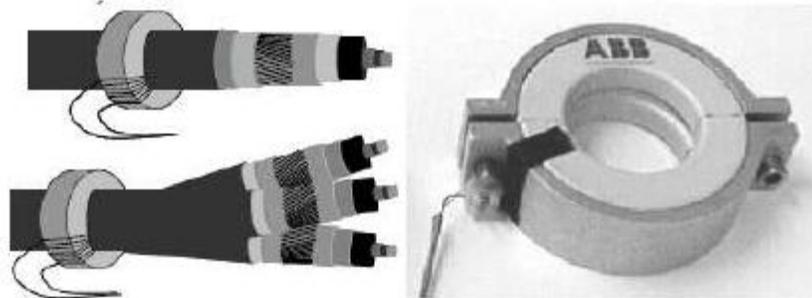


Fig. 2.9 Acoplamiento “no invasivo” por medio del núcleo.

Todos los métodos inductivos tienen una gran desventaja, que es que dependen de la carga. El Acoplamiento más afectado por este tema es el acoplador “no invasivo” por medio del núcleo. En cambio el menos influenciado es el acoplamiento “invasivo” por medio de la pantalla.

2.7. Normas regulatorias para PLC de Banda Angosta.

Todas las tecnologías de comunicación de PLC de Banda Angosta trabajan en las llamadas bandas CENELEC (Figura 2.10) en concordancia con el estándar EN 50065.

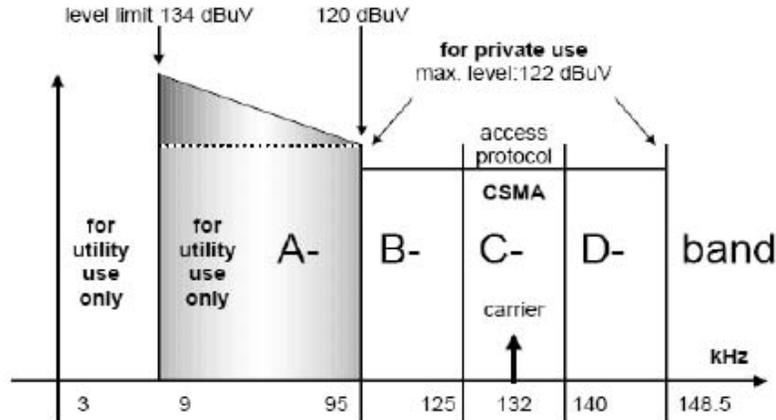


Fig. 2.10 Rango de frecuencias y niveles límites según el estándar EN 50065

Esta Norma brinda las regulaciones sobre parámetros importantes, tales como el rango de frecuencia, los niveles de señal, la potencia de transmisión, etc., permitiendo que los sistemas de PLC operen en la banda de frecuencia de 3 a 148.5 kHz. Se toma este rango para evitar interferir con otros sistemas que trabajan a frecuencias más bajas y de interferir con las señales de radio de larga (LW) y media onda (MW), fijando esto el límite de frecuencia superior.

La asignación de las bandas de frecuencias EN 50065-B-C-D está realizada para las Redes PLC que conectan directamente a los clientes de baja tensión (LV).

Para los sistemas de comunicación que trabajan en líneas de energía de media tensión (1 kV a 36 kV), las asignaciones antes indicadas, quedan sin sentido debido a que no están conectados a sistemas residenciales, por lo tanto los sistemas de PLC de media tensión están permitidos para trabajar en todas las bandas conforme a EN 50065.

Debajo se presentan las categorías de las distintas bandas de frecuencia mencionadas anteriormente:

- El rango de frecuencias de la Banda A está comprendido desde los 9 a 95 kHz, asignado para empresas de servicios eléctricos para utilidades

como AMR; no hay necesidad de utilizar protocolo de acceso al medio cuando se opera en esta banda.

- El rango de frecuencias restante, comprende a las bandas de frecuencias B, C y D, estas, están reservadas para aplicaciones del usuario final. Estas tres bandas difieren principalmente en las regulaciones de los protocolos de cada una de ellas. La banda B se encuentra en el rango de 95 a 125 kHz y no requiere el uso de protocolos de acceso al medio para el establecimiento de las comunicaciones. Por lo tanto es posible que dos sistemas transmitan simultáneamente sobre la banda B, y en consecuencia de ello, puede producirse una colisión de mensajes. Esta banda está diseñada para usarse en aplicaciones tales como intercomunicadores.
- La banda C está clasificada en el rango de frecuencia comprendido entre los 125 a 140 kHz y requiere de un protocolo de acceso al medio, para ser usados por los dispositivos de transmisión. Este protocolo apunta a que la transmisión simultánea de mensajes sea altamente improbable. En consecuencia pueden existir varios sistemas de transmisión, pero solamente uno puede transmitir en cualquier momento. Las aplicaciones de los dispositivos que operan en esta banda incluyen las comunicaciones internas entre PCs de un edificio.
- La banda D comprende las frecuencias de 140 a 148.5 kHz., tiene características similares a la banda A, en que no requiere protocolo de acceso al medio y por ende es factible la colisión de mensajes.

Hay diferentes reglas en USA y Japón. Estos países tienen el límite superior de frecuencia para los sistemas PLC en alrededor de 500 kHz. Esto es, porque ellos no usan sistemas de radio de onda larga. La mayoría de los sistemas de PLC de gran velocidad, que trabajan en las bandas CENELEC, con una tasa de datos de hasta 1 Mbps, son diseñados para trabajar en el mercado de USA y Japón.

Finalmente, la Norma EN50065 especifica ciertas condiciones, como los protocolos de comunicación, las especificaciones de los filtros para filtrar la portadora, para evitar la atenuación excesiva de la señal debido a los múltiples dispositivos PLC de baja impedancia en una Red y también brinda información sobre la impedancia de los equipos de comunicaciones.

2.8 Equipos de la red de comunicaciones.

Se decide implementar las tecnologías anteriormente comentadas dependiendo de diversos factores, como la distancia, distribución del terreno, el precio, etc. Se diseña tanto la estructura como la topología de la red a utilizar. Según estos criterios hemos decidido implementar los siguientes equipos de comunicaciones:

FMX12 (Fig.2.11): equipo multiplexor PDH, con capacidad de dos tarjetas de línea con cuatro interfaces a 2Mbps. Soporte para la transmisión de datos utilizando protocolos V24/28 hasta 64Kbps trabajando en modo síncrono. Incluye interfaces para el tráfico de telefonía.



Fig. 2.11 Multiplexor FMX12

ADR2500 eXtra (Fig. 2.12): equipo multiplexor óptico de tecnología SDH capaz de transmitir 2 tramas de STM-16 y 378 tributarios E1 simultáneamente. Soporte para protección Hardware (redundancia de tarjetas). Compatible con Ethernet y Gigabit Ethernet.

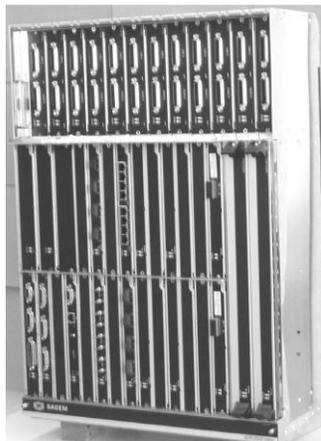


Fig. 2.12. Multiplexor FMX12

Dimat TPD-2 (Fig. 2.13): Sistema de teleprotección digital que permite la transmisión bidireccional de hasta ocho órdenes de teleprotección por una línea digital con interfaz eléctrica u óptica a nivel de E1 (recomendación G.703).

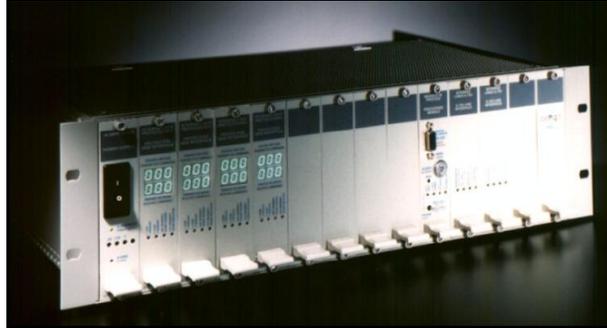


Fig. 2.13 Terminal TPD-2

Dimat OPD-1 (Fig. 2.14): Equipo de onda portadora digital diseñado para la transmisión a través de la línea de alta tensión. Su capacidad de transmisión tanto para voz como para datos es de hasta 81Kbps, más otros canales adicionales para señalización, telecontrol, etc. Este terminal también incluye un sistema de teleprotección analógico.



Fig. 2.14 Terminal OPD-1

PABX Selta (Fig. 2.15): Central telefónica capaz de gestionar el tráfico de la red privada de telefonía. Permite trabajar con extensiones analógicas, digitales y puestos de operadora. Es compatible con protocolos tanto analógicos, E&M, como digitales, RDSI, Q-SIG (E1), VOIP.



Figura 2.15 PABX Selta

Implementación de la red.

Una vez diseñada la red se lleva a cabo su implementación descrita cronológicamente en los siguientes pasos:

- Montaje y Configuración de los equipos: El montaje consiste en la colocación de los equipos en armarios tipo rack de 19" y su correspondiente cableado a partir del diseño realizado previamente. Asimismo se procede a la configuración de todos los equipos según los servicios deseados.
- Realización de pruebas de laboratorio: En este punto se interconectan todos los equipos entre si y se comprueba el correcto funcionamiento de todos los servicios que conforman la red. Para la realización de estas pruebas se requiere equipos específicos de instrumentación, tales como Osciloscopios, Data Tester, etc.
- Pruebas de campo y aceptación del cliente: Esta es la última parte del proyecto, en ella se realizan las pruebas finales en campo y se deja la red implementada tal y como se diseño al principio. Durante la realización de estas pruebas estarán presentes ingenieros de la empresa eléctrica los cuales supervisaran dichas pruebas y darán su aprobación si lo creen conveniente. Una vez aceptada la minuta de trabajos se da por finalizado el proyecto dejando todos los equipos que conforman la red en servicio.

CAPÍTULO 3. SERVICIOS DE BANDA ANCHA POR LÍNEAS DE POTENCIA PARA USUARIO FINAL.

3.1- PLC v/s Cable Módem

Es similar a un módem normal, el cable módem puede conectarse a Internet. Se diferencian en que el cable módem normal usa una línea telefónica, en cambio, el cable módem usa la red de distribución de TV cable para transmitir datos.

Es un dispositivo que permite su acceso de datos a alta velocidad utilizando la red de televisión por Cable.

El acceso a Internet vía Cable Módem, consiste en un sistema que permite la transferencia de información desde/hacia Internet a través de la misma plataforma de recepción de la señal de televisión por cable.

La conexión se hace dividiendo la señal que llega al usuario a través del cable conectando la computadora a Internet y entregando la señal de televisión al televisor del usuario.

El acceso a Internet por medio cable módem le permite bajar información hasta tres veces más rápido que el servicio convencional de acceso telefónico. Este servicio está disponible 24 horas al día 365 días al año. Además, en la modalidad de dos vías, no requiere de línea telefónica por lo que se reduce la facturación telefónica. Además posee las siguientes características:

- Distribución en Bus
 - Medio compartido hasta el cliente
- Velocidades Asimétricas
- Límites aplicados de velocidad en el acceso
- Posibilidad de simetría hasta 10Mbps
- Límites físicos
 - No hay límite de distancia
 - Cada bus HFC tiene capacidades hasta 50 Mbps en sentido red-usuario y 10 Mbps en sentido usuario-red
- Equipamiento Adicional
 - Splitter Datos

3.2.- Internet Vía Cable Módem

La ventaja más importante de este servicio consiste en que permite "bajar" información de Internet hasta tres veces más rápido que el servicio convencional de acceso telefónico.

Otra ventaja adicional en la modalidad de dos vías es la disponibilidad del servicio 24 horas al día, 365 días al año sin costo adicional, puesto que al no requerir de líneas telefónicas se reduce la facturación por este concepto, además de que se desocupan dichas líneas.

Este servicio funciona mediante una conexión de alta velocidad entre la red Internet de RACSA y la red de las empresas de televisión por cable, AMNET y Cable Tica, de forma tal que los clientes de dichas empresas pueden acceder a la red Internet de RACSA por medio del cable coaxial provisto por el servicio de cable de las televisoras. Posee los siguientes tipos de accesos:

3.2.1.- Una Vía:

La computadora del usuario debe estar conectada tanto al cable módem como a la línea telefónica. Los datos transmitidos desde Internet hacia el equipo del usuario serán transportados a través del cable coaxial; en sentido contrario los datos serán transmitidos a través de la línea telefónica. La velocidad máxima para "bajar" información será de hasta 64 Kbps.

3.2.2.- Dos Vías:

En este caso los datos son transmitidos en ambos sentidos, de "bajada" y de "subida", a través del cable coaxial, de manera que el equipo del usuario se conectará únicamente al cable módem, por lo que no utiliza la línea telefónica.

3.3.- Funcionamiento del Módem

El proceso que hace un módem es el siguiente (Fig. 3.1): Toda información que se desee enviar a otro lado, se debe adecuar para ser transportada por el canal de comunicación.

El módem que envía una información, convierte la señal digital del computador en señal analógica para que pueda transmitirse a través del canal telefónico.

El módem que recibe esta información analógica la convierte en digital para que pueda ser comprendida por el computador.



Fig. 3.1, Transformación de la señal en un módem.

3.3.1.- Algunas ventajas del uso de cable módem son:

- **Costo:**
 - ✓ Este servicio permite un ahorro significativo, debido a que la conexión con cable módem no se usa la línea telefónica. Así se posee una mayor velocidad de acceso, de esta forma se está menos tiempo conectado que el que se hubiese necesitado con los servicios tradicionales de accesos telefónicos (Dial Up).
- **Contenidos:**
 - ✓ Al tener un Módem se pueden acceder a contenidos multimedia, ideales para ser vistos a alta velocidad.
- **Comodidad:**
 - ✓ La conexión es inmediata, no se pierde tiempo.
 - ✓ Se aprecia así las mejoras de navegar a velocidades altísima.
 - ✓ Se demuestra la comodidad en el hecho de estar conectado siempre a Internet.
 - ✓ Una de las cosas más importantes: el teléfono nunca se utiliza.

3.4.- Limitaciones del Cable Módem:

El cable Módem puede usar mucha más velocidad, pero esta velocidad se ve desincentada por algunos factores como lo son:

- -Los terminales de los usuarios que pueden estar malos o no muy bien hechos (Ej. Conector RJ45).
- -Velocidad de los servidores de Internet.
- -Retardos de la red en general.

3.5.- Tipos de Módem.

3.5.1.- Módem Digital

Este dispositivo (Fig. 3.2) es más moderno que el módem análogo, es mucho más rápido y más caro. Es más rápido debido a que no realiza una conversión de la señal análoga a digital. Este tipo de módem recibe los datos más rápido que la velocidad que alcanza para enviarlos. Como módem digital hay 3 tipos:

3.5.1.1.- Módem de ISDN

La sigla viene de (Integrated **S**ervices **D**igital **N**etwork), lo cual se traduce como Servicios Integrados de Red Digital. Este hardware posee una velocidad bastante más alta que la de un módem común y corriente.

Este dispositivo puede usarse en fibra óptica o con cable par trenzado. Consiste en un dispositivo, el cual al ser digital debe utilizar una línea telefónica digital.

3.5.1.2.- Cable módem

Ya se describió anteriormente este tipo de cable, pero se debe recalcar que el cable módem está clasificado como un módem digital.

3.5.1.3.- DSL (ADSL)

La sigla viene de (**A**symmetric **D**igital **S**ubscriber **L**ine), se puede traducir como Subscriptor de Línea Digital Asimétrica. Esto fue un paso notorio, ya que hay un sólo cableado telefónico, y este puede usarse al mismo tiempo para las llamadas telefónicas y datos digitales (Fig. 3.3).

- Este dispositivo es mucho más rápido para recibir datos que todos los módems mencionados anteriormente, y es más lento si se necesitan enviar datos.
- Este dispositivo usa una frecuencia superior a la que utiliza el teléfono.
- Puede enviar datos y voz simultáneamente en un solo cable.
- Permite tener servicios adicionales, que son para servicios que necesitan altas velocidades como son: la videoconferencia, la televigilancia, etc.
- Es ideal para que este dispositivo funcione a su máxima capacidad, que la distancia entre el abonado y el ISP no sea superior a 5 kilómetros, ya que se produce interferencia producida por el cable de telefonía.
- Disponibilidad las 24 horas del día, los 365 días del año.
- Es exclusivo para cada abonado el ancho de banda entre el ISP y el usuario, no se comparte.
- Puede utilizar un ancho de banda de 1 Mhz. o incluso más si está únicamente conectado el bucle del abonado.
- Permite transmisión: Simplex, Half-Duplex y Full-Duplex, que se definen a continuación:

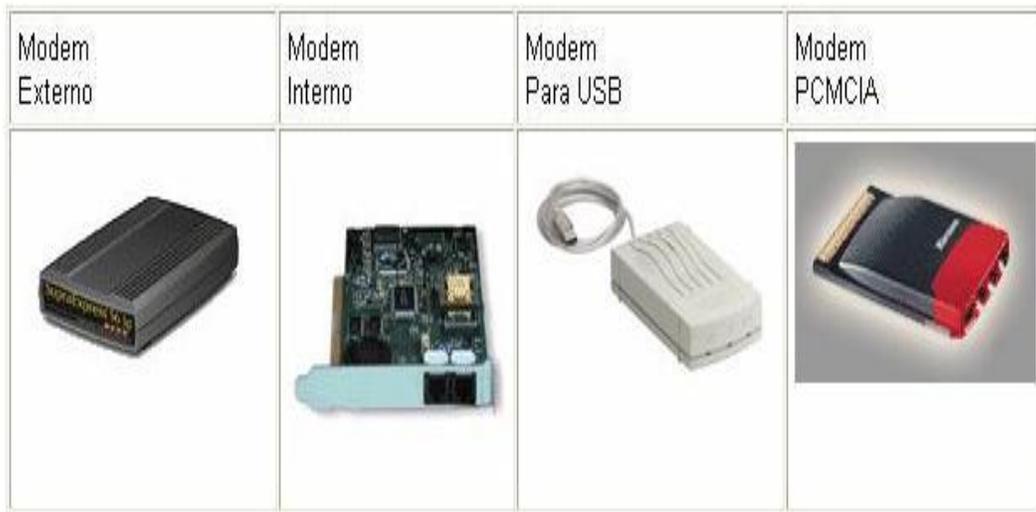


Fig. 3.2, Tipos de Módem

El uso que se le da a este hardware es para Internet, fax o telefonía. Hoy en día, este periférico es de uso básico, imprescindible para los computadores más sencillos. Es el más utilizado. Hay 3 tipos de módem: **Externo, Interno y Acústico**, los cuales se describen a continuación:

3.5.2.1.- Externo: Un hardware ajeno al computador y unido a él mediante Un cable.

Ventajas:

- Fácil de trasladar a otro computador.
- No ocupa espacio interior en el computador.
- Muestra la actividad en el módem (luces).

Desventajas:

- Ocupa espacio externo.(Ej. sobre un escritorio)
- Se necesita un cable para conectarlo al PC.



Fig. 3.3, Módem ADSL.

3.5.2.2.- Interno: Una tarjeta que se instala al interior del computador (Fig. 3.4).

Ventajas:

- Se ahorra en cuanto a espacio, ya que el módem va al interior del computador, y no afuera.
- También se ahorra un cable.

Desventajas:

- Se necesita un puerto pci o similar para conectarlo en el interior.
- Otra desventaja es que se debe usar un software, para que así muestre las luces indicadoras de que es lo que hace el módem.

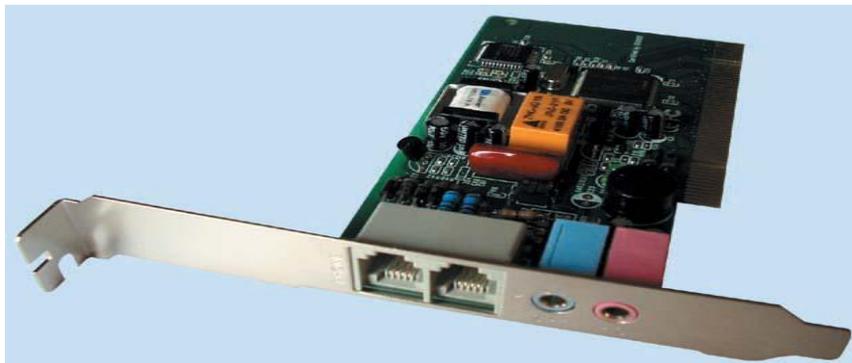


Fig. 3.4, Tarjeta Fax Módem.

3.5.2.3 Acústico:

En este caso el teléfono va al interior del dispositivo, y este es el que se conecta al computador.

Ventajas:

- Puede usar el teléfono sin necesidad de mover el cable del mismo.

Desventajas:

- Voluminoso, atrae la conexión una mayor cantidad de interferencias y estática. Solamente puede usarse con un tipo de aparato de teléfono Standard.

3.6.- Métodos de Transmisión del Módem

3.6.1.- Simplex

La transmisión fluye por la red y va en un sólo sentido (Fig. 3.5). Este tipo de transmisión evita que haya colisiones de datos, ya que los datos llevan un solo sentido, no es reversible.

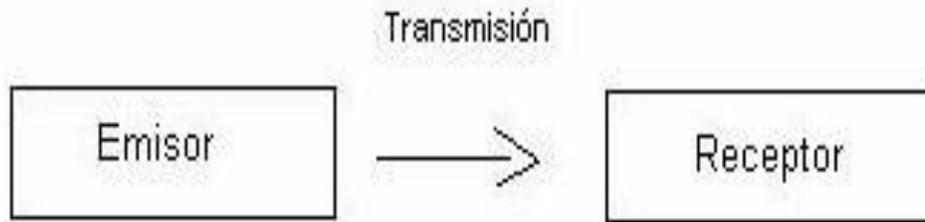


Fig. 3.5, Esquema de una transmisión del tipo Simplex.

3.6.2.- Half-Dúplex

Es cuando la transmisión va y viene en forma simultánea (Fig. 3.6), va transmitiendo y recibiendo información digitalizada simultáneamente por 2 canales distintos.

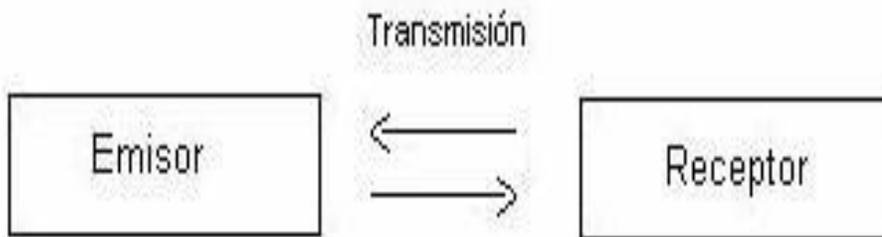


Fig. 3.6, Esquema de una transmisión del tipo Half-Dúplex.

3.6.3.- Full-Dúplex

Hay un canal, pero no se puede enviar y recibir al mismo tiempo (simultáneamente), no paralelamente, cuando recibo no puedo mandar datos (Fig. 3.7)

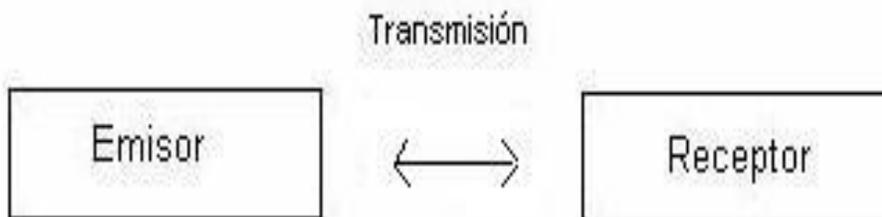


Fig. 3.7, Esquema de una transmisión del tipo Full-Dúplex.

Las señales de Internet como la de electricidad pueden estar en el mismo cable sin ningún tipo de problema, ya que la señal de Internet está muy por

encima de la señal eléctrica, es decir tienen una diferencia de rangos, lo que evita que se interfieran una a la otra.

La señal eléctrica llega en las redes de alta tensión a los 12 kilohertz, se transforma finalmente en los 50 al llegar a los hogares.

3.7.- Diferencias de ADSL y PLC

Existe el rumor que en el caso del ADSL, siempre el usuario tiene una conexión individual hasta la central, ya que el par de cobre no lo comparte con nadie. Aunque esto sea cierto, todas las conexiones ADSL son concentradas por un multiplexor ATM y salen por el mismo enlace hasta el siguiente tramo de red. Las empresas proveedoras de ADSL deciden cuantos ADSLs meter por Mbit/s de salida de que dispone.

En el caso de PLC esta concentración ocurre antes, en el equipo repetidor concretamente, pero no importa porque el usuario no sabe donde ocurre dicha concentración.

Finalmente, el usuario dispone de un ancho de banda de salida a Internet mínimo determinado por la concentración (número de conexiones que se juntan por Mbit/s de salida) y la velocidad máxima está determinada por la cantidad de usuarios que en este momento estén usando su conexión ADSL, teniendo en cuenta la máxima teórica sea de 256 Kbps o 2 Mbps.

En PLC ocurre lo mismo, si por ejemplo: 100 usuarios de un mismo equipo "Repetidor" están conectados, la velocidad máxima teórica disminuye a Kbps, pero si hay menos usuarios la velocidad máxima teórica de bajada aumenta a Mbps, mientras que en ADSL nunca vamos a pasar de los 256 Kbps o 2 Mbps ya que este es el máximo teórico, haya o no muchos usuarios conectados. Desde ese punto de vista, PLC escala de una manera no igualada por ADSL.

El siguiente tramo de la red transcurre entre el "Repetidor" y su "Head End" correspondiente, pasamos a un nivel en el que los equipos "Head End" se comunican entre sí. Para dar salida a Internet uno o varios de los "Head End" se conectan a una red de transporte clásica.

Esta red de transporte suele ser en Gigabit Ethernet. Esta red de transporte proporciona la salida a Internet.

3.8.- Cobre

En la actualidad ya es básico disponer de algún sistema de comunicación para la transmisión de datos en nuestros computadores, es por ello que muchas compañías han ofrecido una serie de sistemas para satisfacer esta necesidad.

En un primer momento aparecieron los lentos módem, los cuales no permitían conexiones rápidas, y eso afectaba el envío cuando la información es mucha ya

que significa mucho tiempo conectado. Posterior a eso han aparecido nuevas tecnologías como son: banda ancha, conexiones por cable, ADSL, Wireless, VDSL, etc.

Hoy en día, ha aumentado la moda por tener dispositivos inalámbricos (laptop, PDA, WI-FI, etc.), sin embargo, el cobre aún es utilizado mayoritariamente en la creación de redes de comunicaciones, por ejemplo: hay cobre (Fig. 3.8) en el cable módem, en el cable par trenzado, también se puede encontrar en el cable coaxial, así mismo encontramos cobre en los cables telefónicos, como además en los cables eléctricos, no obstante, se debe dejar en claro que lo fundamental en la creación de redes es la velocidad de la transmisión de datos.

Además que lo encontramos cobre en circuitos que forman parte de nuestros computadores. Lo que hace que se elija este elemento es por ser un buen conductor, más baratos que otros conductores, funciona en todo ambiente, y que se dé un uso común en cuanto a telecomunicaciones, etc.



Fig. 3.8, Algunos tipos de cables, que utilizan el Cobre.

3.8.1- Características del Cobre

- El cobre es un elemento metálico, cuyo color es rojo pardo, brillante, maleable y dúctil.
- Su símbolo químico es Cu
- Es barato en comparación con conductores muy buenos como el oro y la plata.
- El cobre es un muy buen conductor eléctrico, permite su empleo en aplicaciones eléctricas: cables eléctricos, hilos, piezas de aparatos eléctricos, redes de computadores, etc.
- El cobre es un muy buen conductor de calor siendo el segundo mejor, después de la plata, se utiliza en utensilios para el hogar (bowl, ollas, cacerolas, etc.), en la industria de la alimentación que destilan sustancias,

además se utiliza el cobre por características de conductividad térmica en las aplicaciones de equipos térmicos (intercambiadores, depósitos, refrigeradores, radiadores).

- Es más duro que la plata y el oro.
- El cobre después del hierro, es el metal más útil que disponemos.
- Su punto de fusión es de 1.083° Celsius.
- Posee una densidad de 8,94.
- Este elemento presenta un alto grado de acritud (se vuelve quebradizo si es sometido a martilleo).
- El cobre tiene una gran resistencia a la corrosión atmosférica.
- El cobre se encuentra en México desde la primera hasta la sexta región.
- Existen en México más de 23 minas de importancia.
- México es el principal productor de cobre a nivel mundial.
- México posee aproximadamente el 30% de la reserva mundial.
- El cobre fue el primer metal utilizado, que se encuentra en estado natural. En toda la antigüedad se usó (antes de Cristo): Mesopotámica, Egipto, etc., se han encontrado elementos construidos con cobre: por ejemplo, hachas, lanzas, hojas de puñales, etc.
- El cobre constituye el 0,007 % de la litosfera.

3.9.- Cable Módem

Este dispositivo permite un acceso de alta velocidad a Internet, por medio de la red de televisión por cable, Este tipo de módem es mucho más rápido que el módem análogo. Permite transportar todos los datos multimedia (TV, video, Internet, etc.).

A diferencia de la tecnología ADSL, Este dispositivo funciona a través de la conexión telefónica, el cable módem funciona mediante una red de fibra óptica y cable coaxial.

El cable módem actúa sobre una red híbrida, conocida como redes HFC, que es la unión de cable coaxial y fibra óptica, permitiendo una transmisión de hasta 10 Mbps.

Toda la información que manejan los computadores es digital, es decir, está compuesta por un conjunto discreto de dos valores: 1 y 0.

Se necesita un dispositivo para traducir (codificar) entre la línea telefónica de tipo análogo y el computador que es digital, porque generalmente los computadores utilizan el sistema telefónico para comunicarse con otras computadoras.

El dispositivo que hace posible esto es el módem, su significado puede explicarse como Modular/Remodular. Modula una señal digital de la computadora,

transformándola en una análoga, para poder mandar los datos a través de la línea telefónica.

Después, para una señal entrante análoga, demodula la señal convirtiéndola en una digital. Muchos usuarios comparten la misma línea que usa el cable módem, por lo tanto, cuando más usuarios se conecten a esta línea disminuye el ancho de banda.

3.9.1 - Comparativa con otras tecnologías

	PLC	Cable Módem	DSL	ISDN
Capacidad	Puede ofrecer las mismas velocidades de transmisión o superiores, que ADSL o Cable Módem, es decir, desde 256 kb/seg. Hasta 2MB/seg.	La capacidad de carga, es en teoría ciento de veces mayor que la del par trenzado, sin embargo todavía no se llega a usar esa capacidad.	Hay de 128, 256,300, 512, 600 kb/seg., 1MB/seg., 2MB/seg., etc. La velocidad de subida y bajada nunca llega a ser real, se dice que un 80% es la real conexión, ya que depende del número de usuarios conectados que tenga el ISP.	-Teléfono e Internet a la vez. - 2 canales de 64 kb/seg (128total). - 1 canal de 16 kb/seg. (teléfono).
Disponibilidad	Prácticamente esta todo listo, solo poner módem a los usuarios, head end en postes o subterráneo y repetidores, pero la red en si misma esta lista, alcanzando el 95% del país.	Esta muy masificado, fue la primera forma de conexión a Internet. A través de un ISP	Muy popular, demasiada demanda para tener banda ancha a través de un ISP.	Disponible en áreas urbanas.

	PLC	Cable Módem	DSL	ISDN
Confiabilidad	Si se corta la electricidad, el servicio se detiene.	Si se corta la electricidad, el servicio se detiene.	Es más confiable que el cable. Tiene reserva de la energía y continúa trabajando normalmente si no hay electricidad.	Sigue funcionando a pesar de cortes de electricidad, es más confiable que el cable.
Ventajas	-Siempre conectado -Alcanza lugar donde no llega otro tipo de conexión	-Siempre conectado -Comprobado su buen funcionamiento	-Siempre conectado -Masificado	-Siempre conectado -Comprobado su buen funcionamiento
Conexión	Compartido	Compartido	Dedicado	Dedicado
Medio de Transmisión	Cable Eléctrico	Cable Coaxial	Par trenzado	Par trenzado

Tabla 1, Comparativas de tecnologías.

3.10.- PLC y su mercado

En la actualidad el PLC no es considerado como un mercado emergente, debido que no han existido proveedores que den esta tecnología en forma regular. Esta tecnología está más bien enfocada a lo residencial, en zonas urbanas.

Sin embargo, también puede ser idóneo para empresas que tengan sucursales en zonas rurales, pero el inconveniente o limitación es la distancia máxima en relación al transformador, ya que influye en que no se alcancen altas velocidades.

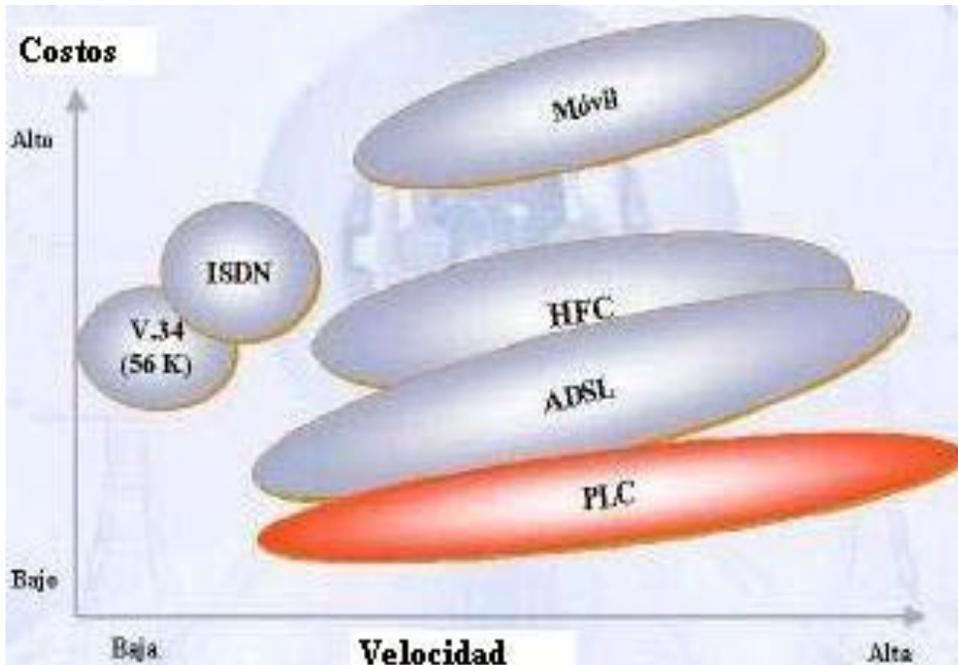


Fig. 3.9 Comparativas de costos y velocidad de las tecnologías de acceso.

La situación actual en las casas o en oficinas, es que el computador este permanentemente en el mismo lugar donde está la conexión a Internet, excepto si es inalámbrica, lo cual frente a PLC es una desventaja, ya que el módem de PLC se puede instalar en cualquier otro enchufe, permitiendo la movilidad del computador a otro lugar de la casa.

En la actualidad CFE tiene un plan de PLC, pero no está masificado, no tiene restricciones geográficas, sólo debe haber cobertura de Internet banda ancha en la ciudad que se desea instalar, el costo aún es muy elevado.

En este punto hay algo que se debe mencionar, ya que varias personas que han ingresado a la página web de CFE, y en ella promocionan la tecnología PLC, que es llegar y contratar, pero sin embargo, cuando se comunican con los ejecutivos de venta de esta empresa, no tienen ni idea del producto, dicen que la página web no está actualizada, es más, algunas veces dicen que esa tecnología

ya no la ofrecen, si no derivan a los técnico y posteriormente dicen que no hay factibilidad técnica, con esto queda demostrado que aún no todo es lindo en cuanto a la tecnología PLC, que aún quedan cosas por solucionar.

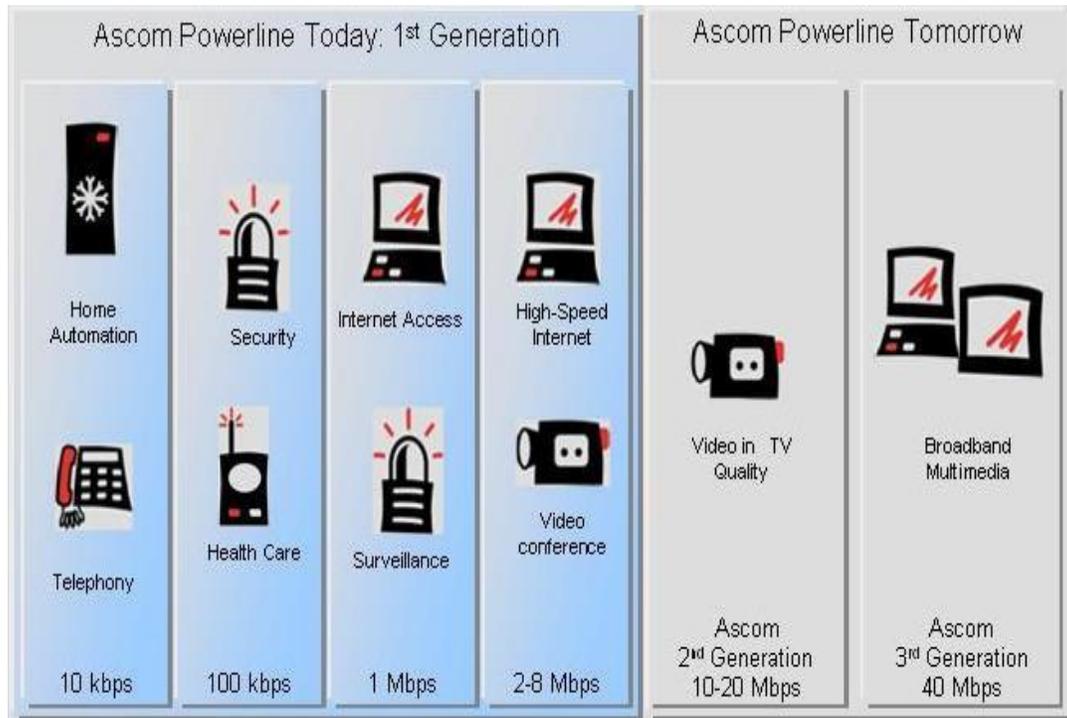


Fig. 3.10, Esquema de evolución de la tecnología PLC en la marca Maxcom.

3.11.- Mercado Consumidor

Para que la tecnología PLC pueda abrirse un espacio comercial tanto en el mercado nacional como también en el mercado internacional, se necesitan los siguientes elementos básicos:

Un Computador, no necesariamente este computador debe ser de marca, ni cumplir grandes características.

Poseer una factibilidad técnica de conexión (red de telecomunicación), esto quiere decir, que se necesita tener factores positivos para poder instalar esta tecnología.

Actualmente en México está el proyecto e-México¹, el cual es auspiciado en conjunto por el gobierno de México, y algunas empresas privadas, a través de esta red ya tienen acceso 5.129 establecimientos educacionales a lo largo de

¹ Programa Nacional del Gobierno y la Secretaría de Comunicaciones y Transportes donde encontrarás información y servicios.

México, lo cual permite que un gran número de alumnos de estos establecimientos puedan tener acceso a esta red.

El porcentaje que tiene acceso a Internet en zonas urbanas es de un 21% y en zonas rurales a un 6% de la población, mientras, los usuarios de Internet corresponden a un 18% y un 5% de la población urbana y rural, respectivamente.²

Estas cifras estadísticas demuestran la real preocupación del gobierno por impulsar las Tecnologías de Información y Comunicación (TIC).

3.12.- PLC en otras partes del mundo:

Ya está muy avanzada en España, Alemania y Francia, (ver tabla 2) España ya está comercializando la conexión a Internet a alta velocidad a través del sistema PLC. Demostraciones en Barcelona permitieron alcanzar velocidades de hasta 360 Kbps (seis veces la conexión RDSI y más que la oferta común en la ADSL doméstica).

Hasta 12 Mbps por segundo en Sevilla. Iberdrola, en alianza con la compañía israelí NAMS, está llevando a cabo una experiencia piloto en Madrid para ofrecer servicios de Internet en banda ancha a una velocidad garantizada de 2 Mbps y con el objetivo puesto en los 10 Mbps.

En el resto de Europa y también en Asia existen diversas iniciativas de compañías alemanas como la Kiln Telecom, asociada con la empresa RWE.

Ya hay fabricantes que ya cuentan con productos que permiten alcanzar los 200 Mbps, incorporan lo último en cuanto a diseños creados por la empresa DS2, estas empresas son: Toyocom, Corinex, Intellon, Mitsubishi.

Actualmente la mayoría del país ya cuenta con electricidad, abarcan más del 95% de la población, y sigue creciendo la utilización de Internet por parte de personas adultas y niños.

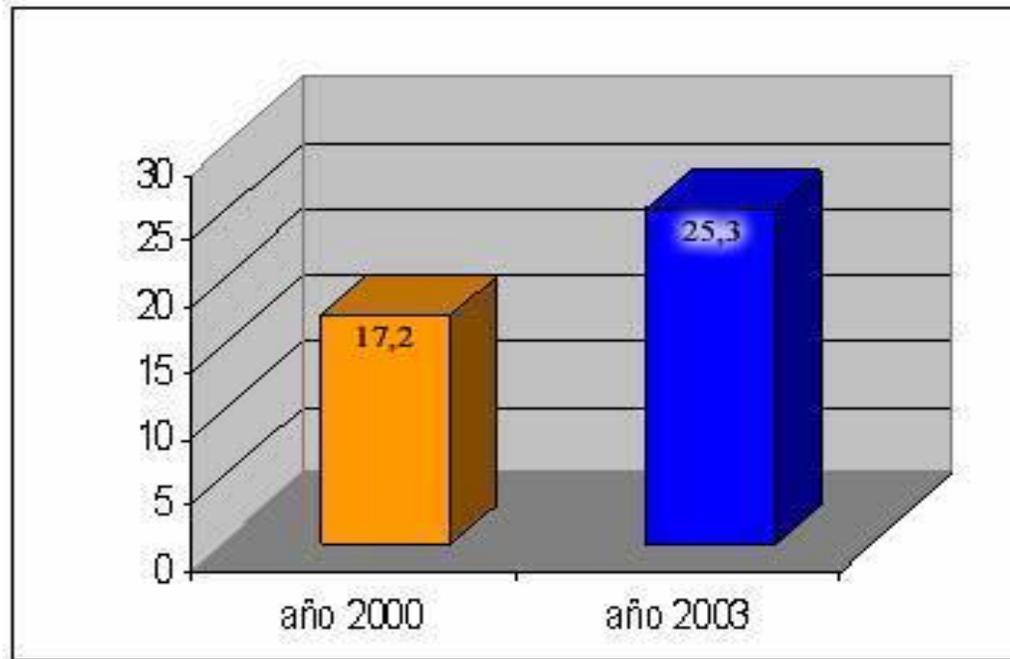
² Fuente, SUBTEL. Informe Estadístico Número 5. Estadística del sector de las telecomunicaciones en México, mayo 2002.

	DS2	ASCOM	MAIN.NET
Origen	Español	Suizo	Israelí
Tecnología	Velocidades - 45 Mbps - 200 Mbps	Velocidades - 4,5 Mbps - 20 Mbps	Velocidades - 2 Mbps - 20 Mbps
Producto	Chipsets para módems PLC	Concentradores Repetidores CPEs	Concentradores Repetidores CPEs SW de Gestión

Tabla 2, Comparativas entre algunos proveedores de tecnología PLC

3.13.- Situación Actual de Internet en España:

Ya todas las escuelas y liceos de España tienen Internet, no importando la condición social, económica o demográfica que se encuentren los colegios. Según la última Encuesta de Caracterización Socioeconómica, CASEN 2003, demuestra que los hogares que cuentan con al menos un computador son 1.039.146 hogares, con esta estadística se demuestra que el crecimiento entre el 2000 y el 2003 fue de un 56%, hay que considerar que esta estadística es del 2003, por lo que lo más probable es que haya aumentado este porcentaje en los últimos años.



	Año 2000		Año 2003	
	Número	%	Número	%
Si	665.448	17,2	1.039.146	25,3
No	3.206.405	82,8	3.073.692	74,7
Total	3.207.070	100	4.112.838	100

Tabla 3, Números y porcentajes de hogares que tienen un computador.

Fuente: MIDEPLAN, División Social, Encuesta CASEN 2000 y 2003

En la actualidad en España 1 de cada 4 hogares cuenta con un computador. Esta encuesta además establece como conclusión que de los hogares encuestados que tenían computador al momento de esa encuesta, el 50.1% tenía acceso a Internet, vale decir, que 1 de cada 2 tenía acceso a Internet, pudiendo ser banda ancha o una conexión conmutada.

Esta estadística refleja un crecimiento de 320.140 a 520.205 hogares conectados a Internet.

	Año 2000		Año 2003	
	Número	%	Número	%
Con acceso a Internet	320.140	48,1	520.205	0,1
Sin acceso a Internet	345.308	51,9	518.941	9,1
Total	665.448	100	1.039.146	100

Tabla 4, Números y porcentajes de hogares con computador y acceso a Internet.

La situación en España ya supero que más de 6,5 millones de personas mayores de 5 años de edad tengan acceso a computador.

Incluso se ha aumentado el uso del computador por parte de la tercera edad, la encuesta demuestra que el 16% de las personas mayores de 65 años de edad tiene acceso a un computador.

Se puede demostrar con esta estadística que en el año 2003, 520 mil 205 hogares tenían conexión a Internet.

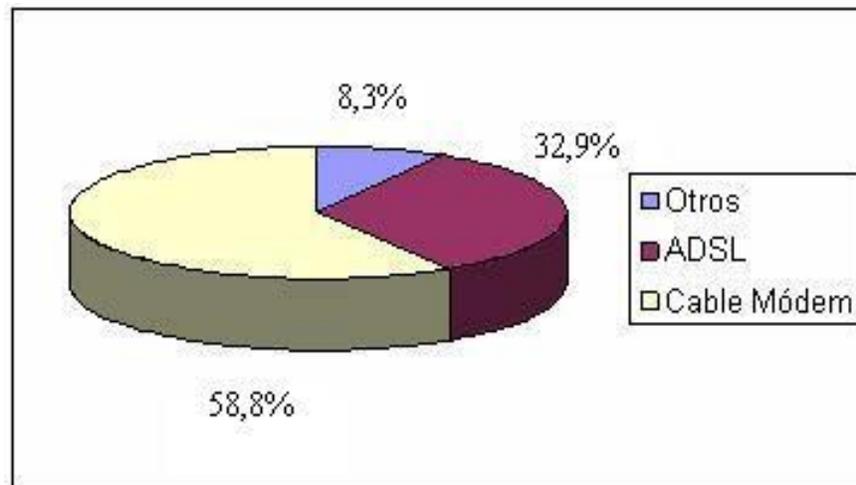


Fig. 3.11, Número de Suscriptores según tecnología de acceso.
Fuente: MIDEPLAN, División Social, Encuesta CASEN 2000 y 2003

Cabe señalar que a mediados del 2005 se duplico la velocidad de la banda ancha en todos los hogares del país, los proveedores no subieron precios por esta medida, al contrario, con esta medida muchos hogares contrataron el servicio de Internet.

En su momento la duplicación de velocidad fue para modernizar más al país (mirado desde el punto de vista del gobierno), que más gente tuviera acceso a un computador e Internet. Actualmente la velocidad mínima de contratación para tener Internet es de 64 Mbps.



Tabla 5, Tendencia a la Banda Ancha (conexiones superiores a los 128 Kbps).
 Fuente: International Data Corporation España, API

<i>CAPITULO III</i>		<i>APLICACIONES PLC, INTERNET DE ALTA VELOCIDAD.</i>				
Región	Hogares	Hogares con teléfono fijo	Hogares con computador	Penetración computadores	Hogares con Internet	Penetración Internet
I	93.598	45.003	14.459	15,4%	7.418	7,9%
II	113.080	69.020	28.556	25,2%	15.599	13,7%
III	66.078	22.679	8.439	12,7%	3.133	4,7%
IV	141.963	52.361	14.817	10,4%	4.723	3,3%
V	416.854	227.476	68.639	16,4%	32.222	7,7%
VI	200.468	68.192	19.435	9,6%	8.552	4,2%
VII	232.189	61.301	18.468	7,9%	8.311	3,5%
VIII	498.818	215.912	78.038	15,6%	29.141	5,8%
IX	215.351	67.676	21.985	10,2%	10.359	4,8%
X	271.892	94.604	29.499	10,8%	13.845	5,0%
XI	24.529	9.302	3.188	12,9%	1.114	4,5%
XII	44.366	27.986	12.687	28,5%	6.483	14,6%
R. M	1.552.667	1.074.080	334.453	21,5%	175.049	11,2%
Totales	3.871.853	1.516.380	652.663	15,2%	315.949	7,0%

Tabla 6, Hogares con telefonía, computador y acceso a Internet por región.

Fuente: Estudio Estadístico Número 4, año 2000

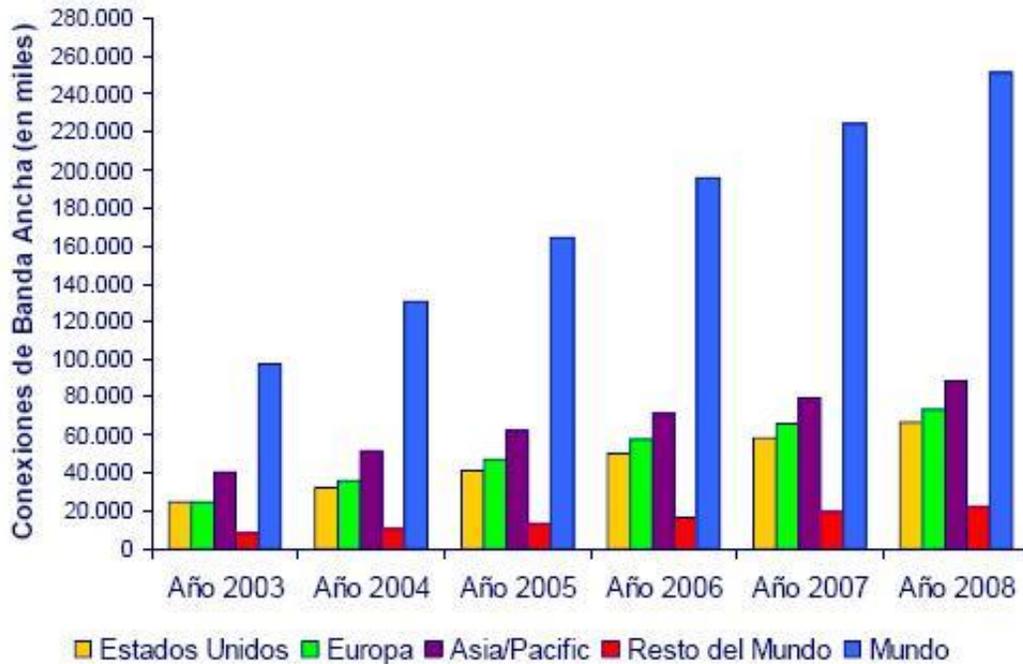


Tabla 7, Análisis Mundial del Mercado de Banda Ancha.

3.14.- Organizaciones y grupos de trabajo del PLC a nivel Mundial

En la actualidad a nivel mundial se han creado una gran cantidad de grupos de trabajos y foros para fomentar tanto el desarrollo de esta tecnología como la normalización de la misma. Algunos ejemplos de estos grupos son: Universal Powerline Association (UPA), la PLC Utilities Alliance (UPA), la HomePlug Alliance y PLCforum.

3.14.1.- PLCforum.

PLCforum es una organización a nivel internacional creada en el año 2000 en Suiza, fue creada por la unión de International Powerline Telecommunications Forum y el German Powerline Telecommunications Forum, se encargada y vela por los intereses de los fabricantes, así como también de los desarrolladores de esta tecnología, incluyendo los intereses de las compañías eléctricas (www.plcforum.com).



Fig. 3.12, Logo PLCforum.

3.14.2.- UPA.

La Universal Powerline Association (www.upapl.org) es una asociación Internacional cuyo objetivo es generar estándares globales y normativas regulatorias para el mercado PLC.

Su objetivo es crear productos certificados compatibles entre si para la tecnología PLC y así ponerlo de forma más rápida en el mercado, que cumplan con las necesidades para transmisión de datos e imágenes sobre el entorno residencial.

Dentro de esta asociación podemos nombrar a empresas como: Ambient Corporation, Ascom, Corinex Communications, DS2, Itochu, Sumitomo y Toyocom.



Fig. 3.13, Logo UPA.

3.14.3.- PUA.

Su sigla viene de PLC's Utilities Alliance.

Fue fundada en Enero de 2002 por Iberdrola, Enel, EDF, EnBW y Endesa, Ed P, Unión FENOSA y EEFREW. Tiene por misión que entre las empresas eléctricas se cooperen mutuamente en pos del desarrollo del PLC y que además se cree un marco regulatorio como además de estándares para el PLC.



Fig. 3.14 Logo PUA.

3.14.4.- HomePlug Alliance

HomePlug Alliance es una asociación de industrias relacionadas con el PLC. Los miembros del grupo aportan la capacidad y financiación necesaria para el desarrollo de esta tecnología.



Fig. 3.15, Logo HomePlug.

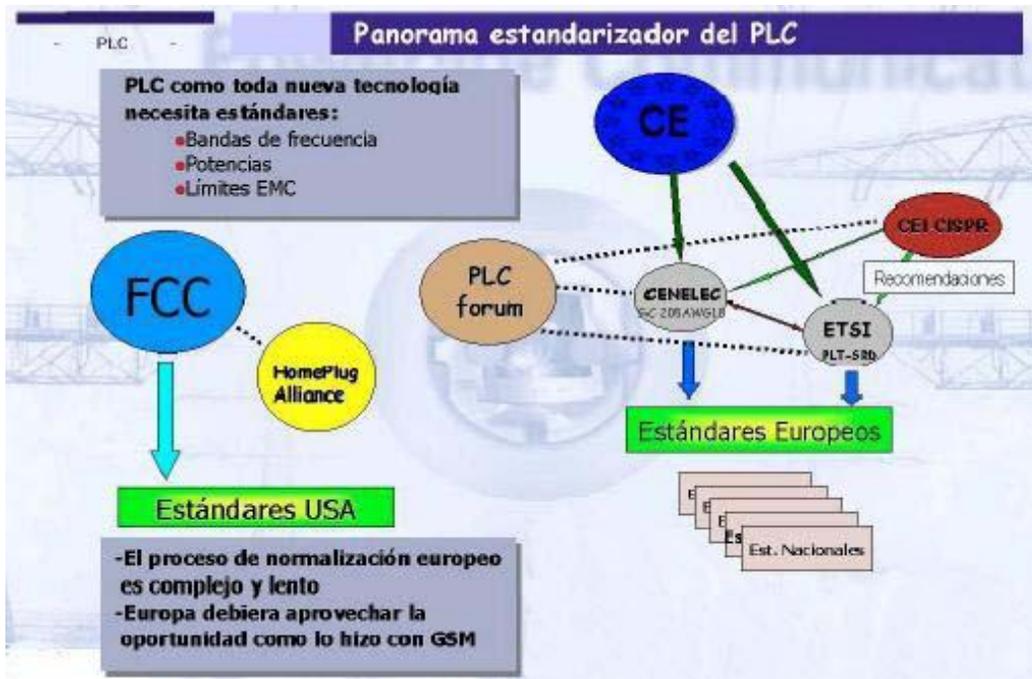
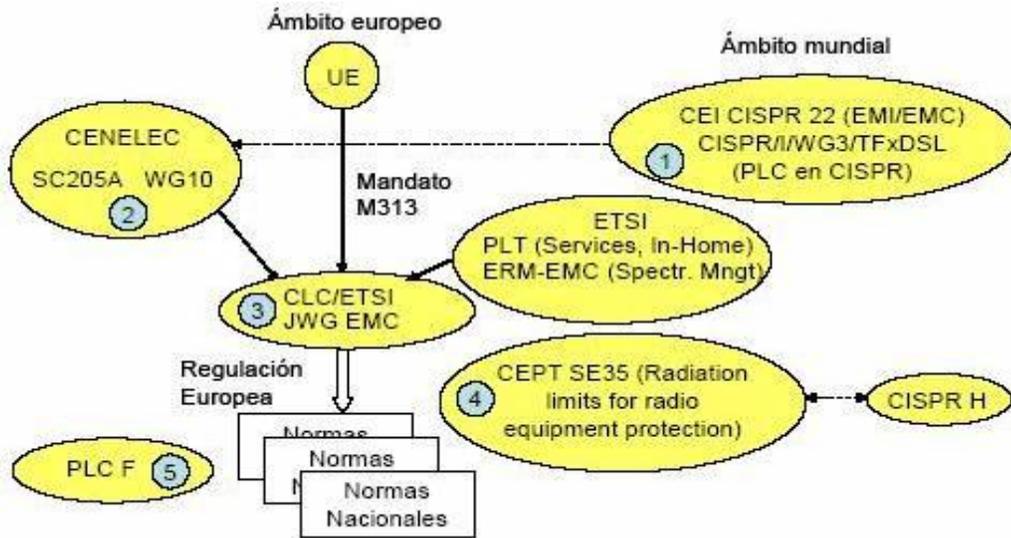


Fig. 3.16, Esquemas de Regulación en Europa y mundial.

3.15.- Algunos proyectos hechos en otras partes del mundo:

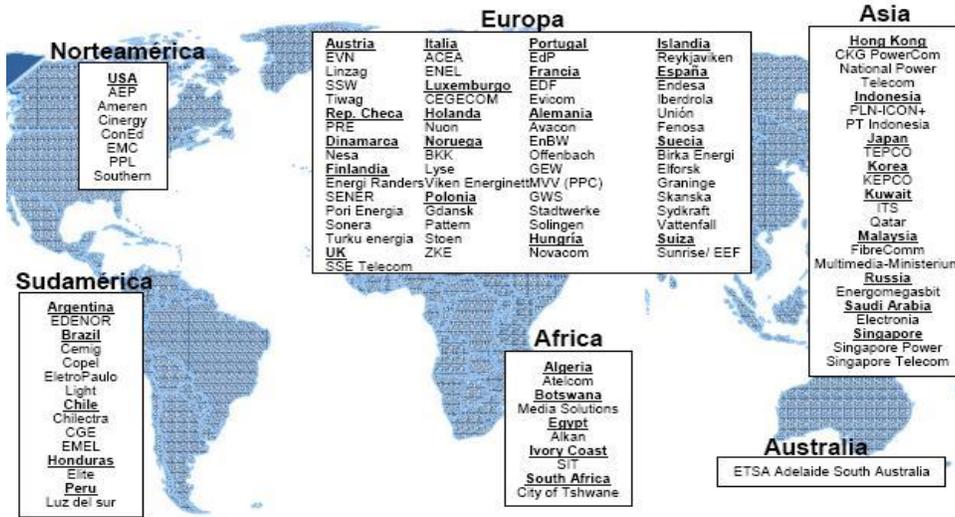


Fig. 3.17, Esquema de proyectos PLC a nivel mundial.

Fuente: White Paper on Powerline Communications and its Impact on the Development of Broadband in Europe, 2002; Arthur D. Little PLC Survey , December 2002 and July 2003.

3.16.- Empresas que hacen Chipset³

Desarrolladores de Chipsets	D52	Intellon Cogency
Velocidad de Transferencia	200 Mbps	Hasta 85Mbps
Principal Aplicación Actual	Acceso / Red de Área Local	Red de Área Local Estandart Homeplug 1
Rango de frecuencias	De 1 MHz a 38 MHz	De 4.3 MHz a 20.9 MHz
Modulación	•OFDM Adaptive •1280 canales portadores •"Bit rate" adaptable por portador, de acuerdo al ruido en los canales •FEC (Foreward Error Correction)	•OFDM •84 canales portadores •Adaptación automática por portadores •FEC (Foreward Error Correction)
Velocidad de Transferencia en Desarrollo	Licenciamiento de tecnología	Disponibilidad comercial sin requerimiento de licencias

Tabla 8, Comparación desarrolladores tecnología PLC.

³ Se denomina Chipset (conjunto de circuitos integrados, traducido del inglés) a un conjunto de microchips diseñados para actuar en conjunto, y usualmente comercializados como una unidad. Se designa circuito integrado auxiliar al circuito integrado que es periférico a un sistema pero necesario para el funcionamiento del mismo. La mayoría de los sistemas necesitan más de un circuito integrado auxiliar.

La empresa española IBERDROLA ha lanzado dos tipos de productos: PLC 600, con velocidad simétrica de envío y recepción de 600 Kbps (más del doble de las líneas estándar actuales), con un costo de de 39 € mensuales, y además saco PLC 100, con una velocidad simétrica de 100 Kbps por 24 € al mes.

La instalación y el primer mes son gratis, recibiendo el módem en préstamo durante la duración del contrato (un año y puede prorrogarse).

Estos planes cuentan con un correo de 25 megabytes (Mb), 10 Mb de página personal y el mantenimiento de la cuenta de correo previa.

Los usuarios interesados podrán disponer del servicio en un plazo medio de 15 días y contarán, además, con un período de seis meses de prueba, durante los cuales pueden cancelar el contrato si no están satisfechos.

La cadena de valor de la tecnología PLC está integrada por: el desarrollador del chipset (elemento base de la tecnología); el fabricante de equipos; el instalador; el proveedor de infraestructura (empresa eléctrica); proveedor de servicios Internet y el cliente.

3.17.- Regulaciones del PLC

Cabe tener presente que en nuestro mercado de telecomunicaciones es el sector privado el que realiza los proyectos de telecomunicaciones. El Gobierno sólo establece las mínimas regulaciones que sean necesarias.

El problema que enfrenta PLC es en base a la regulación, ya que se juntan 2 mercados regulatorios: el mercado regulatorio telefónico y el mercado regulatorio eléctrico.

3.17.1.- En el ámbito de Telecomunicaciones:

El problema radica en que la tarifa de telecomunicación de banda ancha es un servicio no regulado, da lo mismo quien lo de, y como lo de, el gobierno (a través de la Subtel) no regula esa tarifas.

3.17.2.- En el ámbito Eléctrico:

En este caso, si es un servicio regulado, ya que por ejemplo en el caso de Telefonica le hacen una regulación tarifaria que se basa en un modelo de precio eficiente porque durante un periodo de tiempo, en el cual hay una demanda, se calculan lo que se llaman los costos totales de largo plazo, es decir, se divide por la demanda total de ese periodo y así se obtiene la tarifa.

Cabe mencionar que esta tarifa que se obtuvo esta en base a todos los costos (por ejemplo: recursos humanos, administración, mantención de redes, etc.)

Todos los costos mencionados recientemente están asociados al servicio eléctrico, pero el problema radica en que pasa si se agrega a ese servicio un servicio adicional como es el “dato”, porque no se sabe así que porcentaje es eléctrico y que porcentaje es el dato, sin nombrar por ejemplo que también debe sumársele un porcentaje de administración, de mantención, etc.

Todo esto hace que haya una doble utilización de los activos, esta utilización se divide y la tarifa que se obtiene es menor, ya que el numerador es menor y además que son menores los costos que están asociados y la demanda es la misma. En el fondo de todo, se obtienen más ingresos, pero se bajan las tarifas.

Todo proyecto tiene que solventar por un periodo de tiempo los costos operacionales, y si existe en el caso de Telefonica, una regulación tarifaria que le quitara tarifa por un lado, le haría de esta forma disminuir los ingresos a Telefonica; por otro lado, Telefonica no tendría los ingresos que necesita para solventar los costos operacionales, no tendría como recuperarlo, es decir, al final Telefonica tendría una baja de ingreso durante un periodo de tiempo. Es esta la diferencia entre una tarifa u otra (telecomunicaciones y/o eléctrico).

Telefonica creó una empresa paralela llamada CAM (que es la encargada del área de telecomunicaciones de Telefonica), esta empresa solicitó a la Subtel una frecuencia para operar el PLC de la forma de modelo de negocio llamado “carrier de carriers”, esto quiere decir que Telefonica arrienda las redes de telecomunicaciones para que otras empresas las exploten.

La Subtel dio los permisos y la frecuencia necesarios para llevar a cabo el proyecto PLC.

3.18- Problemas del PLC con radioaficionados

Unos de los grandes inconvenientes para poder instalar esta tecnología es que los radioaficionados usan las frecuencias (de 1 a 34 MHz).

La banda de HF (1,8-30 MHz) es muy importante ya que es la única en donde se pueden realizar comunicaciones prácticamente con cualquier parte del mundo.

Según los radioaficionados dicen que el débil aislamiento de los cables eléctricos, sumado al mal estado de algunas redes, hace que la instalación eléctrica de un hogar sea una antena que por un lado recibe toda clase de ruidos electromagnéticos del exterior y por otro deja escapar señales que pueden interferir en otras comunicaciones.

Por medio de esta banda, los radioaficionados han sido más eficaces que cualquier tecnología, pudiendo ayudar a encontrar personas que sus seres queridos buscan, avisando noticias de un país que se encuentra sin un medio de transmisión y a veces sin electricidad, cooperando así con muchas personas de

diferentes países, enviando remedios, coordinando actividades cuando hay desastres naturales como son los terremotos, maremotos, etc. Todo esto gracias a la banda de HF.

Al poco tiempo de iniciado este proyecto de PLC, aparecieron los radioaficionados que interpusieron reclamos en la Subtel por el supuesto de interferencias.

La Subtel llevó a cabo unas mediciones de ruidos que determinaron que dada las frecuencias y/o equipos que se utilizaban para llevar a cabo el PLC interferían las comunicaciones de los radioaficionados, motivo por el cual la Subtel solicitó a Telefonica el retirar la solicitud de concesión.

Desde el año 2002 (año que la Subtel solicitó a Telefonica el retiro de concesión), desde esa fecha hasta la actualidad, PLC no está funcionando como producto, pero si aun funcionan los equipos PLC.

Actualmente la empresa Sinapsis (empresa de soporte técnico- informático del grupo Telefonica) usa el PLC como solución a las necesidades internas, sin un fin comercial, sólo de uso interno en la empresa.

La tecnología PLC irradia muchas veces menos que un celular en estado de espera. Hoy en día, el gobierno a través de la Subtel, está interesado en que se pueda reflatar la idea del PLC, el interés del gobierno es que disminuya la brecha digital, que según el gobierno al ser corta esta brecha se puede cortar el círculo de la pobreza, y así muchas personas o familias enteras podrían salir de ese medio.

Telefonica tiene como concesión sólo la red eléctrica de la Región Metropolitana, y actualmente los equipos permitirían un máximo 200 Mbps, esta velocidad depende de los equipos como por ejemplo el head End (cabecera) y modem.

En Estados Unidos la FCC (Federal Communications Commission), esta normando esta tecnología. La Unión Europea recién está viendo el problema de la regulación de esta tecnología PLC.

Otro problema radica en que en base a la dimensión regulatoria está encargada tanto la Subtel como también la Comisión Nacional de Energía (CNE). El problema radica que estos 2 entes no se han comunicado entre sí para solucionar el problema.

En la actualidad estas oficinas siguen sin conectarse, por lo tanto, el mundo de las telecomunicaciones y el mundo energético siguen separados por un gran trecho.

3.19.- Principales órganos del Estado que participan en la regulación del sector

Comisión Nacional de Energía (CNE):

Elabora y coordina los planes, políticas y normas necesarias para el buen funcionamiento y desarrollo del sector energético nacional, vela por su cumplimiento y asesora a los organismos de Gobierno en materias relacionadas con la energía.

Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC):

Vigila la adecuada operación de los servicios de electricidad, gas y combustible, en términos de su seguridad, calidad y precio.

3.19.1 - Solicitud de Permiso

La persona natural o jurídica que requiera satisfacer necesidades específicas de telecomunicaciones, debe presentar una solicitud, dirigida al Subsecretario de Telecomunicaciones, en la Oficina de Partes de la Subsecretaría de Telecomunicaciones o en la Secretaría Regional Ministerial de Transportes y Telecomunicaciones respectiva, de acuerdo al Instructivo Relativo a los Servicios Limitados de Telecomunicaciones, Resolución Exenta N°352 de 1985, ateniéndose al Marco Técnico Relativo a los Servicios Limitado, Resolución Exenta N° 391 de 1985, modificada por la Resolución Exenta N°524 de 1989.

Además deberá presentar una memoria técnica que contenga una descripción de las características de funcionamiento de los equipos a utilizar y los cálculos técnicos que los justifiquen.

La Subsecretaría de Telecomunicaciones, en un plazo de 60 días hábiles siguientes a la fecha de presentación de la solicitud, emitirá una resolución exenta, por la cual otorgará el permiso, o en su defecto, lo rechazará, dando a conocer las observaciones que motivaron el rechazo.

Esta resolución de rechazo puede ser reclamada, por escrito, dentro del plazo de 10 días después de hecha de notificación, ante el Ministro de Transportes y Telecomunicaciones, acompañada de todos los medios de prueba que acrediten los hechos que la fundamenten.

La resolución que resuelve la reclamación podrá ser apelada para ante la Corte de Apelaciones de Madrid, dentro de los 10 días siguientes a la fecha de su notificación.

Las notificaciones establecidas en la ley se realizan por la Subsecretaría de Telecomunicaciones, mediante el envío de carta certificada al domicilio señalado por el interesado.

Los plazos se cuentan una vez que hayan transcurrido 5 días desde el momento en que la Subsecretaría depositó la carta certificada en la Oficina de Correos de Madrid.

Las estaciones no pueden iniciar sus servicios mientras sus obras e instalaciones no hayan sido previamente autorizadas. Para ello, los permisionarios deben solicitar la recepción de obras a la Subsecretaría de Telecomunicaciones con 30 hábiles de anticipación, como mínimo, antes de la fecha de inicio de servicio establecido en la resolución que autorizó el permiso o la modificación.

El incumplimiento de este trámite expone al permisionario a sanciones establecidas por la ley.

La solicitud de recepción de obras debe contener, a lo menos los siguientes datos:

Nombre del permisionario.

Dirección.

Teléfono.

3.19.2- Modificación del Permiso

La Recepción de Obras es el acto administrativo mediante el cual la autoridad de telecomunicaciones verifica que el otorgamiento o la modificación del permiso hayan sido implementados por el permisionario en los términos en que fue asignado mediante la resolución respectiva y de acuerdo al proyecto presentado.

La Subsecretaría tendrá un plazo de 30 días, contados desde la fecha de presentación de la solicitud para ejecutar la recepción de las obras e instalaciones. La autorización la otorgará al comprobar que las obras e instalaciones se encuentran correctamente ejecutadas y corresponden al respectivo proyecto técnico aprobado.

Si no se procede a la recepción de las obras en el plazo indicado, los permisionarios pueden poner en servicio las obras e instalaciones, sin perjuicio que la Subsecretaría de Telecomunicaciones proceda a recibirlas con posterioridad.

El permisionario está afecto a sanciones en los siguientes casos:

1. Iniciar servicios sin autorización de la Subtel;
2. Solicitar la recepción de obras fuera de plazo,
3. No solicitar recepción de obras, normas y certificaciones.

Las obras, instalaciones y equipos utilizados deben cumplir con las normas técnicas de telecomunicaciones y demás normativas pertinentes aplicables al servicio, tales como normas de instalaciones eléctricas dictadas por la Superintendencia de Electricidad y Combustibles, disposiciones de la Dirección General de Aeronáutica Civil y Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones.

3.19.3 - Resolución de la SEC

El dictamen jurídico de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC) establece que no hay impedimento para la explotación comercial permanente de servicios de telecomunicaciones por la red eléctrica.

Compañía General de Electricidad S.A. (CGE), puede usar sus redes eléctricas de baja y media tensión para la transmisión de datos, según un dictamen de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC).

El informe jurídico oficial señala que no existe impedimento legal para el desarrollo del proyecto, de acuerdo a la normativa que regula la actividad de distribución de energía eléctrica.

En la medida que la Superintendencia no ve impedimentos legales para el desarrollo del proyecto, se ha dado un paso de trascendencia para la industria eléctrica y de las telecomunicaciones en España.

Se abre así la posibilidad de que cualquier distribuidora desarrolle, sin autorización previa, iniciativas tendientes a poner en valor sus redes, mediante la transmisión de datos.

La única condición que pone la decisión es que la constitución de derechos a terceros para que ocupen sus redes no exime a CGE filial de Telefonica, del cumplimiento de todas y cada una de sus obligaciones en su calidad de concesionaria de servicio público de distribución.

La Superintendencia de Servicios Eléctricos y Combustibles enfatiza que bajo ningún aspecto podría la solicitante delegar su responsabilidad en relación con la calidad y seguridad del suministro eléctrico.

3.20- Aplicación e Implementación del PLC

Las soluciones híbridas significa la combinación de varias tecnologías para dar una solución, en este ejemplo para dar una solución de acceso a Internet a algún hogar u oficina en algún lugar donde solo hay electricidad, en el caso de PLC puede dar soluciones híbridas, es decir, mezclando PLC con otras tecnologías se pueden alcanzar localidades extremas donde no llega Internet, sino solamente la electricidad, donde las empresas proveedoras de Internet (llamados ISP), no tengan implementados las redes o también se podría decir donde no les interesa alcanzar a esos potenciales clientes ya que tendrían que invertir mucho en infraestructuras (ej. antenas, o cableados, mano de obra, etc.) para poquísimos clientes.

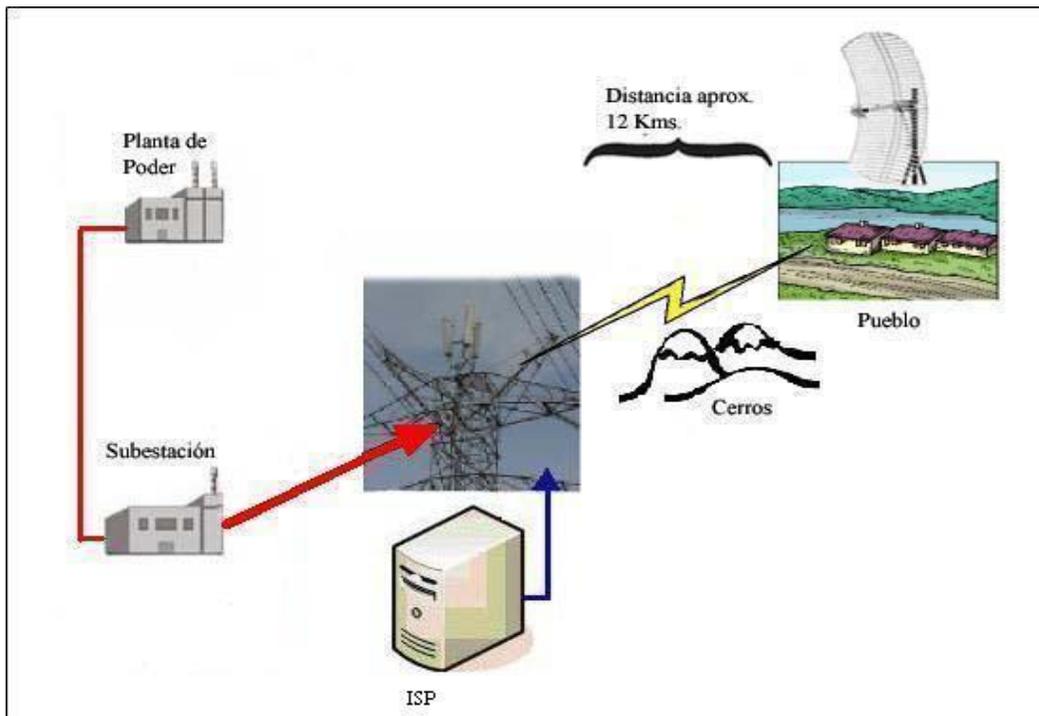


Fig. 3.18, Esquema de una solución híbrida (combina Wi-Fi y PLC).

El valor de una antena WI-FI del tipo “Cast Reflector Grid”, la cual tiene un valor de US\$ 120, cumple con los requisitos para alcanzar algunos pueblos o localidades distante de una ciudad, puede estar a varios kilómetros, en este caso se asume una antena la cual tiene un alcance de 12.000 metros (12 kms.).

Usa banda ISM de 2.4 GHz permitida por la Subtel., esta antena podría ser la solución a algunas zonas donde las empresas no quieren llegar con PLC, ya que no vale la pena poner los Head End y los demás dispositivos tanto en los postes como en los hogares de esas lejanas localidades, en el supuesto que hayan sólo un número menor de posibles abonados, lo cual significa que no vale la pena invertir tanto recursos por parte de las empresas que dan acceso a Internet a través de PLC.



Fig. 3.19, Antena tipo Grid, modelo HG2424G Cast Reflector Grid de HyperLink Technologies.

Tipo	Direccional
Apta para exteriores	Si
Ganancia	24 dBi
Cobertura vertical	8 grados
Cobertura horizontal	8 grados
Alcance	12.000 metros
Tamaño	100 x 60 x 12 cms
Frecuencia	2.400 a 2.500 MHz
Impedancia	50 Ohm
Standard soportado	IEEE 802.11b y 802.11g

Tabla 9, Especificaciones técnicas de antena HG-2424G.

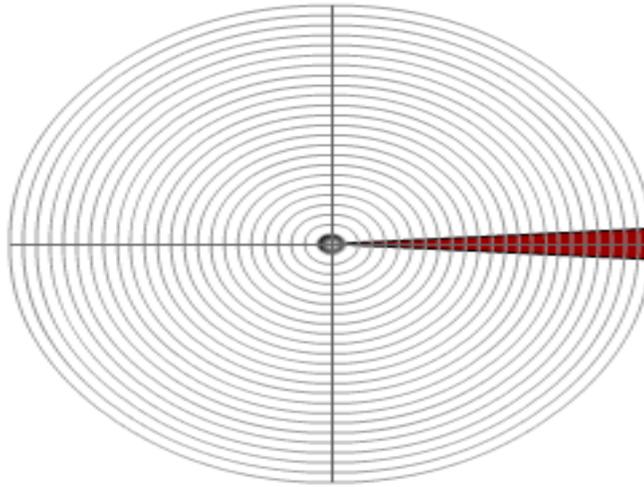


Fig. 3.20, Cobertura horizontal de 8° de la antena HG-2424G.

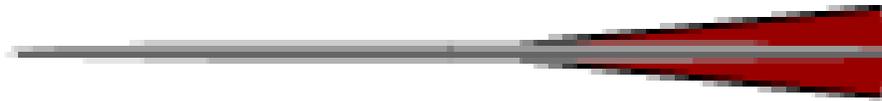


Fig. 3.21, Cobertura vertical de 8° de la antena HG-2424G.

3.21.- Teorías sobre la implementación del PLC

Para llevar a cabo la instalación de la tecnología PLC en España, sobre todo pensando alcanzar lugares remotos del territorio nacional.

En este subtema se desarrollan algunas teorías acerca de la utilización de tecnología PLC viendo cómo afectaría a los hogares o empresas tanto dentro como fuera del país, estas teorías son:

Al implementar esta tecnología en España, visto desde el punto de vista de gobierno aumenta la cultura informática de las personas, puesto que usan mas tecnologías relacionadas con computación, disminuye la brecha digital entre las personas, así hay una disminución de tantas diferencias entre la gente que usa y las que no un computador, aumenta el uso de la tecnología y comunicaciones , lo cual trae que las personas sean más capacitadas, lo cual se refleja en una mejor educación que se puede dar.

Un problema que puede traer la implementación de PLC, es el hecho que las empresas encargadas de la distribución de la energía eléctrica, quieran explotar esta tecnología (se sabe que arrendarían sus actuales tendidos a las empresas

proveedoras de Internet), el problema radica en que se perderá el enfoque o rumbo que han tenido hasta la actualidad, lo cual afectará a las actuales políticas empresariales y reglas del negocio, además que las empresas no tienen el conocimiento ni la experiencia en el rubro del PLC.

La tecnología PLC aprovecha las redes de energía eléctrica como medio o forma para dar acceso a Internet y otros servicios adicionales a los potenciales clientes, esto quiere decir, que la cobertura entregada por la red de energía eléctrica será directamente proporcional a la cobertura que entregue la tecnología Power Line Communications.

Toda la actual demanda que hay por la tecnología de banda ancha será absorbida rápidamente por la tecnología PLC, ya que esta tecnología presenta mayor facilidad de extensión a lugares más lejanos que la actual banda ancha.

Todas las obras hechas en cuanto a la instalación de elementos para la aplicación de la tecnología hasta los hogares ya están hechas (como por ejemplo: torres, postes, transformadores, tendido de cables conductores, etc.) y funcionando en la actualidad en las zonas rurales, esto hace que la red de energía eléctrica mantenida por Telefónica (Compañía Española Metropolitana de Distribución Eléctrica S.A.), CGE (Compañía General de Electricidad), CNFE (Compañía Nacional de Fuerza Eléctrica), CET (Compañía Eléctrica del Tarapacá) y Empresa Eléctrica de la Frontera S.A. den servicios.

Si se aplica esta tecnología (no tan sólo en Santiago, si no en regiones), solucionará el problema de ampliar las redes de telecomunicaciones, sobre todo en alcanzar sectores rurales, lo cual significa que haya un posible aumento de usuarios consumidores de servicios como telefonía fija e Internet, y quizás en un futuro cercano de otras tecnologías que se podrían transmitir por el tendido eléctrico.

La entrega de esta tecnología a través de cualquier proveedor de energía eléctrica, permitirá una verdadera solución, permitiendo que empresas de telecomunicaciones puedan brindar más servicios de telefonía y acceso a Internet como última milla.

3.22.- Mayores comodidades para la comunidad en futuro cercano

La implementación de PLC, permitiría establecer comunicaciones telefónicas IP. Para ello basta con enchufar los equipos de telefonía tradicionales al módem PLC.

Esto beneficiaría enormemente las comunicaciones de larga distancia nacionales e internacionales, ya que simplemente no serían cobradas como tal, y estarían dentro del costo del servicio de Internet, como tráfico de datos.

Al tener acceso a todos los enchufes de una casa, dentro de poco tiempo será posible crear redes locales lo que permitirá interconectar todas las computadoras de un hogar con los electrodomésticos.

Esto permitiría por ejemplo, programar la lavadora desde el televisor y manejar a distancia luces, calefacción o cámaras de seguridad. Esto es una implementación real de la tecnología Domótica.

3.23.- Ensayos

En Madrid se hizo una prueba, se conectaron 50 clientes del sector oriente de la capital. Esta prueba se realizó en la comuna de Las Condes. A los 50 clientes se conectaron a un área de servicio cubierta por la red de distribución eléctrica de baja tensión dependiente de dos transformadores ubicados en las siguientes direcciones:

Transformador T2: Encomenderos 212 – Las Condes

Transformador T3: Zurich 255 – Las Condes

En el siguiente plano se expone la zona de la comuna de Las Condes en la cual se implemento el Proyecto Piloto:

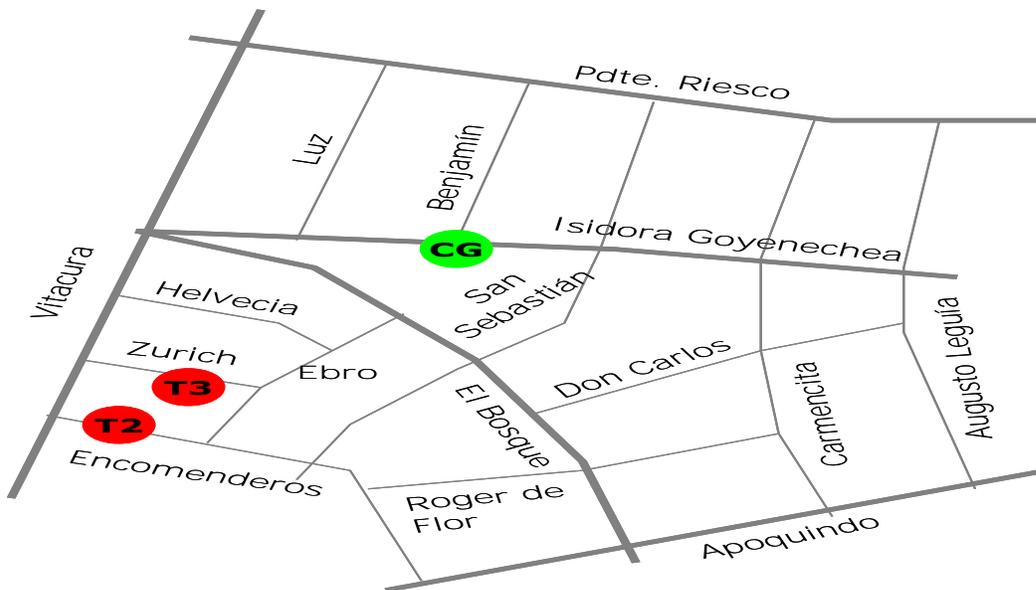


Fig. 3.22, Plano del sector donde se hizo la prueba de PLC.

CG representa la ubicación del centro de gestión y control de la red correspondiente al proyecto piloto. Su ubicación estuvo ubicado en Isidora Goyenechea N° 2905.

El Centro de Gestión (CG) incluye los equipos de control y gestión de la red, más los respectivos enlaces de comunicaciones. Dichos enlaces serán los siguientes:

- Enlace con Proveedor de Servicios de Internet (ISP).
- Enlace con operador de Telefonía.
- Enlace con equipos cabecera de la red PLC.

En este centro están conectadas las estaciones de trabajo que incluyen el software de gestión de llamadas y de gestión de red.

Dado que el protocolo de comunicación utilizado en la RED PLC es el TCP/IP, tanto para el acceso a Internet propiamente tal como para el servicio de telefonía local, en dicho centro de gestión también se ubicará el equipo router que encaminará los tráficos hacia los operadores de cada servicio. El diagrama esquemático de la red, se presenta a continuación:

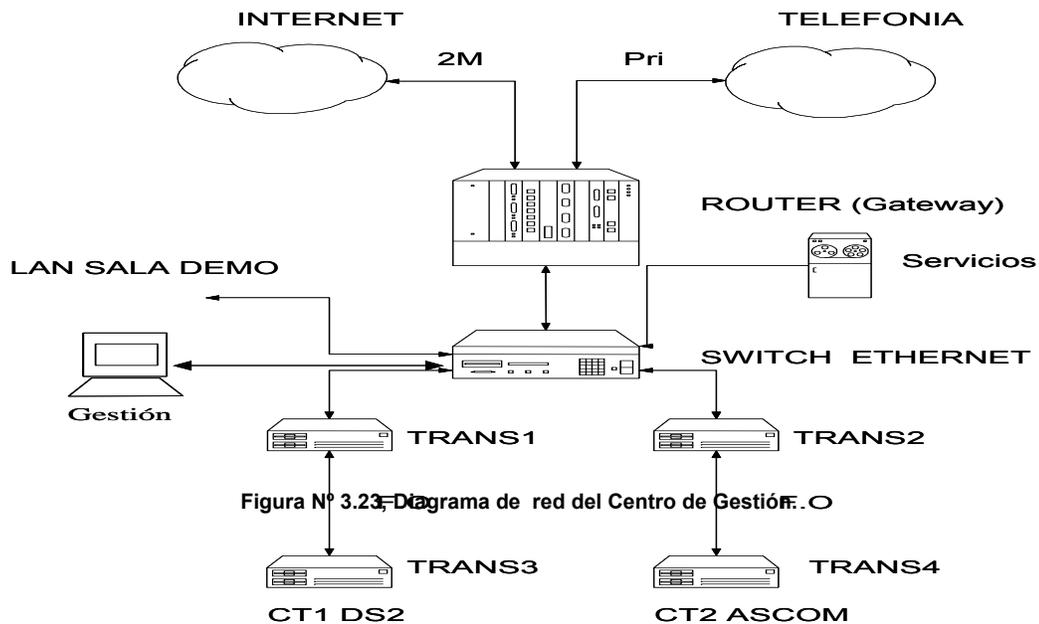


Fig. 3.23, Diagrama de red del Centro de Gestión.

En enero del 2002, el grupo Enersis S.A., a través de la empresa filial Telefónica Metropolitana S.A., estuvo desarrollando un proyecto para probar la tecnología PLC en España.

El objetivo de este negocio era que estaba basado en un esquema de „carrier de carriers’ que permitiría a Endesa a través de Telefonica ofrecer los servicios de transmisión de datos a empresas de telecomunicaciones locales (llamadas carriers) como por Ej.: VTR, Telefónica, Telmex, ENTEL, entre otras; que no contaran con redes en lugares estratégicos de la ciudad o que no tuvieran con acceso expedito a éstas en distintos puntos de Santiago.

El proyecto quedo estancado ya que no se veía muy rentable, ya que estas empresas ya cuentan con la infraestructura en cuanto redes en la mayoría del país.

Por otra parte, es conocido que Endesa España, empresa eléctrica, inició hace varios años proyectos de telecomunicaciones tanto en España como en otros países, dentro de los cuales estaba el proyecto PLC.

Se hicieron experiencias pilotos en algunas ciudades de España. Después de estudios Endesa España abandonó su incursión en telecomunicaciones, y específicamente en PLC, en España y en los demás países, que en el caso de España se reflejó en la venta de Smartcom a América Móvil, del grupo Telmex.

En España, Enersis, filial de Endesa España, siguiendo los pasos de su matriz, inició una prueba piloto en Providencia y realizó rondas con los eventuales interesados en comercializar el sistema.

Llegó a solicitar la correspondiente autorización para instalar, operar y explotar tal sistema, pero hubo oposiciones de terceros, dado que producía interferencia a los sistemas de telecomunicaciones existentes, y se rechazó, dado que no era factible para Enersis resolver esa situación.

La Subtel no tiene en cuanto a normas relativas a frecuencias, regulaciones etc., respecto al PLC. La regulación es mínima y es neutral frente a las tecnologías como el PLC; lo que se regula son los servicios y los aspectos técnicos en el caso que se utilicen frecuencias.

Por otro lado, la Subtel no hace estudios de factibilidad técnica ni económica, las cuales corresponde que los efectúe el sector privado.

Respecto a información sobre el PLC, hoy día presenta una recuperación, y en el caso de EEUU, donde se denomina BPL, está siendo abordado por la FCC.

Por último, los problemas de interferencia que producía el PLC (en los lugares donde se inició el servicio comercial, la distribución eléctrica es subterránea y no

CONCLUSIONES.

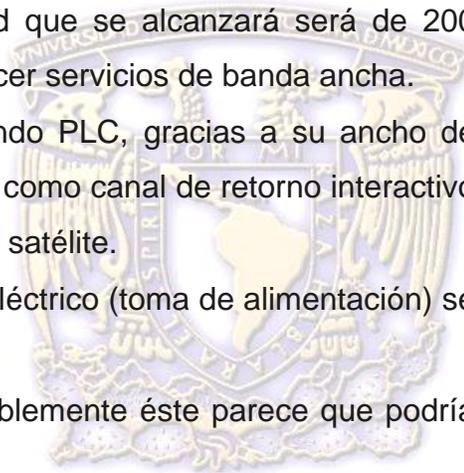
El Control y Protección de las líneas eléctricas. La parte más importante en una subestación eléctrica es la protección de la línea eléctrica. Para ello existen equipos muy sofisticados con muchos sensores y continuamente están midiendo cientos de parámetros de la línea. Los sistemas de teleprotección que se utilizan para que los sistemas de protección, uno en cada extremo de la línea, se comuniquen y que lo haga lo más rápido posible.

El funcionamiento es sencillo, cuando un sistema de protección detecta un posible fallo en la línea se lo tiene que decir a su homólogo en el otro extremo, mediante el envío de comandos a través de nuestros equipos, tiempos de transmisión por debajo de 5ms. De este modo el comando llega antes que el pulso de Alta tensión (60Hz) dando tiempo a que el sistema actúe. Por tanto, las principales características de los sistemas de teleprotección son la rapidez y la fiabilidad. Estos sistemas se conectan también a los equipos de comunicaciones instalados.

La tecnología conocida como PLC (Power Line Communications, de Comunicación en Línea de Energía) es aquella que permite, transmitir señales de voz, datos, internet, telefonía y video, usando como medio de transmisión cableado de electricidad convencional.

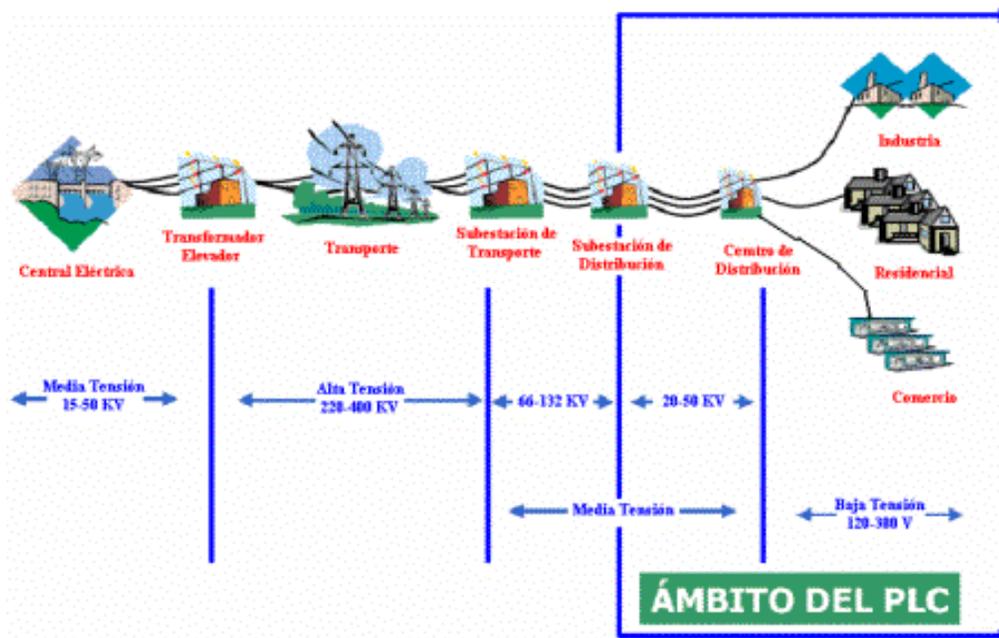
Características

- ancho de banda amplio (ancho de banda de 45 Mbps). La siguiente generación de equipos PLC, la velocidad que se alcanzará será de 200 Mbps con lo cual se puede pensar en ofrecer servicios de banda ancha.
- Aplicaciones de transmisión de video usando PLC, gracias a su ancho de banda. Además las PLC pueden utilizarse como canal de retorno interactivo para las plataformas de TV digital y TV vía satélite.
- Aplicación de telefonía IP. En el enchufe eléctrico (toma de alimentación) se tiene voz y datos.
- Desde el punto de vista del precio, probablemente éste parece que podría costar alrededor de \$30 dls por mes.



Funcionamiento.

La forma en que opera esta tecnología se ilustra en la figura y posteriormente se describen cada uno de los elementos involucrados.



Funcionamiento de PLC

- Central Eléctrica: En la central eléctrica se lleva a cabo el proceso de generación eléctrica.
- Red de alta tensión: La electricidad se transporta a través de una red de alta tensión hasta los centros de transformación.
- Centro de transformación: En los centros de transformación se realiza el cambio de corriente de alta a baja tensión y se instala un router y un módem que permiten transmitir voz y datos a través de la red eléctrica.
- Red de baja tensión: Voz y datos son transmitidos a través de la red eléctrica de baja tensión hasta los cuartos de control.
- Viviendas, edificios públicos, zonas rurales, empresas: Con un módem PLC pueden navegar en Internet, enviar y recibir datos.

Panorama en México.

Las empresas Ascom Power Line Communication y Endesa trabajan con CFE para ofrecer conexión a Internet por medio de la conexión de luz; se han efectuado pruebas en Jocotitlán, Edo. De México; Morelia, Michoacán; Monterrey, Nuevo León y Mérida, Yucatán.

Desventajas.

- Posiblemente haga interferencia sobre las transmisiones de radio en onda corta.

Ventajas.

- No hay necesidad de cableado adicional, se aprovecha el ya existente; lo cual la hace más económica que las conexiones ADSL o por cable coaxial. No necesita línea telefónica y la velocidad de transmisión va de 2.5 Mbps a 135 Mbps.
- Una de las dificultades para extenderse esta tecnología en otros países es la existencia de múltiples proveedores de servicio eléctrico; en México solo hay un proveedor; además le da relativa ventaja para influenciar sobre la regulación en caso de haber quejas respecto a interferencia sobre comunicación de radio de onda corta.



Barreto Bandín Luis Jonathan.

BIBLIOGRAFIA

Bruce Franca, "Broadband Over Power Line", Office of Engineering and Technology Federal Communications Commission.

R. Gómez, M. Leiva Benegas, "Sistema de Telecomunicaciones por Redes de Energía Eléctrica", Publicación ejemplar COPITEC

PLC Technology by Josef Lehmann CEO Cipunet Holding AG Switzerland.

Jero Ahola, Applicability of power-line communications to data transfer of online condition monitoring of electrical drives, Lappeenranta University of Technology, Finland, August 2003.

Autel. Tecnología PLC. Informe de situación.

CFE nuevos servicios. La crónica [29 Ene 05]
<http://www.lacronica.com/edicionenlinea/notas/noticias/20031102/50119.asp>
Comunicaciones World. La revista de los profesionales de redes y telecomunicaciones. [29 Ene 05]

La Cofradía Digital - PLC Internet por la Red Eléctrica

<http://www.cofradia.org/modules.php?name=News&file=article&sid=12273>
Sotomayor, Jesús. Diapositivas de la clase Liderazgo para el cambio. 2005
Villacampa, Javier. Power Line Communications (PLC), una oportunidad para los operadores sin infraestructuras.

Iglesias, Alberto. Acceso a Internet a través de las líneas eléctricas.
<http://www.xe1nk.net/plc.htm>

CENELEC Official Website, URL:<http://www.cenelec.org>

<http://www.idg.es/comunicaciones/articulo.asp?id=133134#>

<http://www.iberdrola.es/ovc/html/micrositePLC/index.html>

<http://www.autel.es/plc.pdf>

<http://www.alambre.info/archives/00000012.html>

<tp://www.masterdisseny.com/master-net/tribuna/index.php3>

GLOSARIO

A.R.P.A.N.E.T.

Advanced Research Project Agency. Progenitora de Internet, fue A.R.P.A.N.E.T., perteneciente al departamento de defensa de los Estados Unidos. Desarrollado como herramienta de uso militar y de investigación.

ADSL.

Abreviación de Asymmetric Digital Subscriber Line. ADSL es un método de transmisión de datos a alta velocidad a través de las líneas telefónicas de cobre tradicionales. Es asincrónica, ya que el ancho de banda asignado para downstream es mucho mayor que el ancho de banda de upstream. Esta tecnología es adecuada para el web, ya que es mucho mayor la cantidad de datos que se envían desde el servidor a un computador personal que desde un computador personal a un servidor.

ALWAYS ON

Siempre conectado. Servicio de acceso a Internet que se caracteriza por brindar las 24 horas del día servicio de acceso a Internet. Este servicio ha sido impuesto por conexiones de banda ancha que a través de un único pago mensual, permite a sus clientes conectarse a Internet, sin restricciones de horario ni tiempo que dure la conexión.

ANCHO DE BANDA.

Es la capacidad para transportar datos que posee un medio en particular. Normalmente se mide en Megabites por segundo (Mb/s) o en Gigabites por segundo (Gb/s). Un ejemplo de esto sería una manguera de jardín que transporta una cantidad determinada de litros de agua por segundo, pero cuanto mayor sea el diámetro de la manguera, más agua transportará. El ancho de banda se mide en Hertz ("ciclos por segundo") o en bits por segundo (bps), por eso, es uno de los factores más importantes que determinan la velocidad de la conexión a Internet.

ATM.

Modo de Transferencia Asíncrona. La tecnología llamada Asynchronous Transfer Mode (ATM) es el corazón de los servicios digitales integrados que ofrecen las nuevas redes digitales de servicios integrados de Banda Ancha. El tráfico del ciberespacio, con su voluminoso y tumultuoso crecimiento, impone a los operadores de redes públicas y privadas una alta demanda de ancho de banda y flexibilidad de soluciones robustas. La versatilidad de la conmutación de paquetes de longitud fija, denominadas celdas ATM, son las tablas más calificadas para soportar la demanda de Internet. Cada celda compuesta por 53 bytes, de los cuales 48 (opcionalmente 44) son para transporte de información y los restantes para uso de campos de control.

BACKBONE

Un backbone es el enlace de gran caudal o una serie de nodos de conexión que forman un eje de conexión principal. Es la columna vertebral de una red. Por ejemplo, NSFNET fue el backbone, la columna o el eje principal de Internet durante muchos años.

BIT.

Abreviación de binary digit, un bit es la unidad más pequeña de datos que un ordenador puede manejar. Los bits se utilizan en distintas combinaciones para representar distintos tipos de datos. Cada bit tiene un valor 0 ó 1.

BPS

Es la abreviación de bits per second (bits por segundo). BPS es una medida de velocidad, que registra el número de bits que son transmitidos en un segundo. Es utilizado para medir la velocidad de un módem o la velocidad de una conexión digital.

BYTE

Serie de 8 bits. Un Byte puede representar una letra, un número, un símbolo.

CABLE COAXIAL.

Es el tipo de cable usado por las compañías de televisión por cable para establecer la conexión entre la central emisora y el usuario. También se lo utiliza en las conexiones de redes de área local (L.A.N.). El cable coaxial está conformado por un núcleo de cobre, aislado por plástico de un recubrimiento metálico y este a su vez envuelto en otra capa de plástico. Suelen emplearse dos tipos de cable coaxial para las redes locales: cable de 50 Ohms, para señales digitales, y cable de 75 Ohms, para señales analógicas y para señales de alta velocidad.

CABLE MÓDEM

Tecnología, que permite acceso a Internet a través de las redes de televisión por cable. Las velocidades de conexión ofrecidas en el mercado oscilan entre los 64 y 960 Kbps.

CARRIER

Portadora. Carrier es una señal o pulso transmitido a través de una línea de telecomunicación. Un carrier es también una empresa que opera en el sector de las telecomunicaciones ofreciendo servicios de telefonía de larga distancia e internacional.

CEBIT

Feria de informática más grande de Europa. Se celebra en la ciudad alemana de Hannover. Suele atraer a las más importantes empresas del sector y a un gran número de visitantes. Se celebra anualmente en el mes de marzo.

CERN

Laboratorio europeo de física de partículas. Fue el desarrollador inicial del World Wide Web. Actualmente los estándares del Web son desarrollados por la World Wide Web Organization (3WO).

CONEXIÓN POR MÓDEM

Es una forma de conexión a Internet a través de las líneas telefónicas. A través de un proveedor de Internet (ISP), la cuenta permite usar un módem para establecer una conexión con el sistema del proveedor. Una vez que se ha marcado el número del proveedor y estando conectado, el proveedor conecta al usuario a Internet. Se

pueden visitar sitios web por medio de un navegador. Existen distintos tipos de cuenta de conexión por módem. Las cuentas SLIP o PPP permiten navegar en el World Wide Web directamente a partir del sistema operativo Windows o Macintosh.

CHAT

Charla. Servicio de Internet que permite a dos o más usuarios conversar en tiempo real mediante el teclado.

DIRECCIÓN DE CORREO ELECTRÓNICO

Se refiere a la dirección de correo de un ordenador a la cual se pueden enviar mensajes electrónicos. Cada sistema de ordenadores maneja de manera distinta la dirección del correo, pero se basa en varios protocolos para intercambiar correo con otros sistemas diferentes.

DIRECCIÓN IP

La dirección del protocolo de Internet (IP) es la dirección numérica de una computadora en Internet. Cada dirección electrónica se asigna a una computadora conectada a Internet y por lo tanto es única. La dirección IP está compuesta de cuatro octetos de bits. Un octeto se refiere a ocho bits que conforman un byte.

DMT

Multi Tono Discreto. Técnica de transmisión de datos que divide un canal en cientos de subcanales. Cada subcanal es testeado para determinar el nivel de ruido existe. Una vez concluida la revisión, el sistema enviará más o menos bits por cada canal, dependiendo el nivel de interferencia que presente cada uno.

DNS

Sistema de nomenclatura de dominios (Domain Name System) Es un sistema que se establece en un servidor (que se encarga de un dominio) que traduce nombres de computadores (www.servidor.dgsca.unam.mx) a domicilios numéricos de Internet (132.248.10.1).

DOMÓTICA

Tecnología basada en el uso del protocolo de comunicación X10, el cual permite controlar y automatizar electrodomésticos tradicionales (televisores, lavadoras, microondas) y otros artefactos eléctricos (portones, luces, riego de jardín) a distancia.

DOWNLOAD

Descargar, bajar. Transferencia de información (archivos) desde Internet a un computador.

DOWNSTREAM

Flujo de datos que es recibido por un computador. El flujo de datos es medido en bps.

E1

Consta de 32 canales de 64 Kbps, 30 canales para transmitir voz y 2 canales para transmitir información de sincronismo y señalización de línea.

EMAIL

Abreviación de electronic mail. Consiste en mensajes de texto enviados de un usuario a otro por medio de una red.

ETHERNET

Tipo de red de área local desarrollada en forma conjunta por Xerox, Intel y Digital Equipment. Se apoya en la topología de bus, anillo, estrella. La red ethernet ofrece un ancho de banda de 10 y 100 Mbps siendo éstas las velocidades más populares.

FCC

Federal Communications Commission. Entidad encargada de regular los límites de exposición humana a las ondas de radio frecuencia.

FRECUENCIA

Número de ciclos o periodos completos de corriente producidos por un generador de corriente alterna por segundo. La unidad de frecuencia llamada ciclo por segundo, hoy es llamada hertzio. Cuando una frecuencia supera los 10.000 ciclos, es llamada alta frecuencia, cuando es inferior a este número, es llamada baja frecuencia.

FULL DUPLEX

Característica de una comunicación que permite transmitir información al mismo tiempo que la recibe, de manera similar a un teléfono convencional.

GATEWAY

Puente. Sistema de información que transfiere información entre sistemas o redes incompatibles.

GIGA

Prefijo que indica un múltiplo de 1.000 millones, o sea 10^9 . Cuando se emplea el sistema binario, como ocurre en informática, significa un múltiplo de 2^{30} , es decir 1.073.741.824.

GIGABIT

Aproximadamente 1.000 millones de bits (exactamente 8.589.934.592 bits).

GIGABYTE

Unidad de medida. 1 giga byte es equivalente a 1.073.741.824 bytes.

HALF DUPLEX

Transmisión de información bidireccional sobre un medio común, por donde la información sólo puede viajar en una sola dirección en un tiempo. Esto permite transmitir o recibir información.

HERTZ

Hercio, unidad de frecuencia electromagnética. Equivale a un ciclo por segundo.

HFC

Hybrid Fiber Coaxial. Red híbrida que está compuesta por tramos de fibra óptica y tramos de cable coaxial.

HIPERTEXTO

Hipertexto se refiere a cualquier texto disponible en el World Wide Web que contenga enlaces con otros documentos. Utilizar el hipertexto es una manera de presentar información en la cual texto, sonido, imágenes y acciones están enlazados entre sí de manera que se pueda pasar de una a otra en el orden que se desee.

HTML

Siglas de Hypertext Markup Language. El HTML es el lenguaje informático utilizado para crear documentos hipertexto. El HTML utiliza una lista finita de rótulos o tags, que describe la estructura general de varios tipos de documentos enlazados entre sí en el World Wide Web.

HTTP

son las siglas de HyperText Transfer Protocol, el método utilizado para transferir ficheros hipertexto por Internet. En el World Wide Web, las páginas escritas en HTML utilizan el hipertexto para enlazar con otros documentos. Al pulsar en un hipertexto, se salta a otra página web, fichero de sonido, o imagen. La transferencia hipertexto es simplemente la transferencia de ficheros hipertexto de un computador a otro. El protocolo de transferencia hipertexto es el conjunto de reglas utilizadas por los ordenadores para transferir ficheros hipertexto, páginas web, por Internet.

INDOOR

Es toda la estructura de la red eléctrica que se encuentra al interior de una vivienda, desde la puerta hacia adentro.

INTERNET

Internet fue un proyecto del Ministerio de Defensa estadounidense conocido como A.R.P.A.N.E.T. Tras haber transcurrido algunos años, el Reino Unido se integró a la red que cubría a gran parte de las universidades y centros científicos de Estados Unidos. Con el paso del tiempo se conectarían los demás países de Europa y algunos países de Asia. En los noventa ya se hablaba de una red internacional. Pero fue hasta la aparición de WWW que se logró conectar a millones de personas desde sus hogares y lugares de trabajo para unificar los recursos, esto trajo consigo el comercio, los negocios financieros, y el entretenimiento. Internet es una colección de miles de redes de ordenadores, es por ello que constituye un fenómeno sociocultural y comunicacional de gran escala, una nueva forma de realizar comunicaciones. Millones de personas acceden a la mayor fuente de información, la cual permite que ésta fluya en ambos sentidos. Internet es una herramienta de trabajo, un periódico global,

un buzón de correos, una tienda de software, una biblioteca, una plaza pública, un recurso educativo, una plataforma publicitaria. Cuatro características podrían definir las virtudes de Internet:

1. Grande, la mayor red de ordenadores del mundo;
2. Cambiante, se adapta continuamente a las nuevas necesidades y circunstancias;
3. Diversa, da cabida a todo tipo de equipos, fabricantes, redes, tecnologías, medios físicos de transmisión, usuarios, y
4. Descentralizada, no existe un controlador oficial, está controlada por los miles de administradores de pequeñas redes que hay en todo el mundo.

ISDN/RDSI

Siglas de Integrated Services Digital Network. Las líneas ISDN son conexiones realizadas por medio de líneas telefónicas ordinarias para transmitir señales digitales en lugar de analógicas, permitiendo que los datos sean transmitidos más rápidamente que con un módem tradicional.

ISP

Siglas de Internet Service Provider. Hace referencia al sistema informático remoto al cual se conecta un computador personal y a través del cual se accede a Internet.

KILOBIT

8192 bits.

KILOBYTE

1024 bytes.

L.A.N.

Local Area Network. Red de área local. Conjunto de computadores interconectados a través de un medio físico (a través de cable UTP o cable coaxial), los cuales se encuentran en una misma área geográfica. Una L.A.N. permite compartir recursos, archivos, información, optimizando el uso de ellos.

M.A.C.

En una red los terminales comparten un único medio de transmisión. Esto provoca que sea necesario establecer un protocolo para asegurar que el medio de transmisión sea utilizado de forma racional y equitativa. El protocolo de Control de Acceso al Medio (M.A.C.) distribuye los recursos del medio de transmisión para los usuarios que lo utilizan.

M.A.N.

Red de Área Metropolitana. Red que no supera los 100 kilómetros de cobertura. Computadores y equipos periféricos conectados en una ciudad o en varias ciudades conforman una M.A.N.

MB

Mega byte

Mb

Mega bit

MEGA BYTE (MB)

Unidad de medida. 1 mega byte es equivalente a 1.048.576 bytes.

MEGAHERTZ (MHz)

Un millón de hertz o hercios.

MÓDEM ANÁLOGO

Aparato que conecta dos o más computadores a través de una línea telefónica. Actúa transformando las señales digitales del computador (bits) en tonos que son transmitidos por la línea telefónica. Igualmente, recibe los tonos que vienen por la línea telefónica y los convierte en señales digitales. Su nombre viene de la abreviación de las palabras modulador - demodulador.

MÓDEM PLC

Su función es introducir la señal digital en el cable de electricidad para que ésta viaje a través de él. También debe separar las señales de información de la señal eléctrica para que éstas ingresen al computador.

NSFNET

National Science Foundation's Network. La NSFNET comenzó con una serie de redes dedicadas a la comunicación de la investigación y de la educación. Fue creada por el gobierno de los Estados Unidos, y fue reemplazada por A.R.P.A.N.E.T. como backbone de Internet. Desde entonces ha sido reemplazada por las redes comerciales.

NT1

Terminación de red 1. Localizado al interior de una vivienda de un abonado, es el responsable de ejecutar funciones de bajo nivel en una sistema de telefonía ISDN.

NT2

Equipo multiplexor que permite tener conectado varios equipos terminales a un mismo terminal NT1.

OUTDOOR

Es toda la instalación eléctrica que se encuentra desde la puerta de la vivienda hacia el exterior, esto incluye las líneas eléctricas desde el medidor hacia el poste de energía eléctrica, el transformador de energía, las redes de baja, media y alta tensión.

P2P

Peer to Peer. Programas de intercambio de archivos entre usuarios de Internet.

PÁGINA WEB

Una página web es un documento creado en formato HTML (Hypertext Markup Language) que es parte de un grupo de documentos hipertexto o recursos disponibles en el World Wide Web. Una serie de páginas web componen lo que se llama un sitio web. Los documentos HTML, que estén en Internet o en el disco duro del ordenador, pueden ser leídos con un navegador. Los navegadores leen documentos HTML y los visualizan en presentaciones formateadas, con imágenes, sonido, y video en la pantalla de un computador. Las páginas web pueden contener enlaces de hipertexto con otros lugares dentro del mismo documento, o con otro documento en el mismo sitio web, o con documentos de otros sitios web. También pueden contener formularios para

ser llenados, fotos, imágenes interactivas, sonidos, y videos que pueden ser descargados.

PC

Personal Computer. Se refiere a todos los computadores personales basados en la arquitectura del Personal Computer IBM presentado en 1981. El PC fue una máquina basada en un microprocesador Intel 8088.

PCMCIA

Personal Computer Memory Card International Association. Tarjetas de expansión que encajan en pequeñas ranuras, las cuales permiten aumentar las capacidades de computadores portátiles.

**POWERLINE COMMUNICATIONS
PLC**

es una tecnología que utiliza los tendidos eléctricos de media y baja tensión de una ciudad como canales de comunicación para transmitir señales digitales de voz y datos. Las velocidades que se pueden lograr pueden variar entre 1 y 12 Mbps. La gran ventaja de una red PLC es la capacidad de convertir el cableado eléctrico de un hogar en una red de alta velocidad, convirtiendo cada enchufe disponible, en un potencial punto de conexión a Internet.

PLC

Es una tecnología basada en la transmisión de datos, utilizando como infraestructura LA RED ELÉCTRICA, permitiendo ofrecer a través de éste medio, cualquier servicio basado en IP, VOIP, ToIP, videoconferencia, datos a alta velocidad, etc. Hay dos tipos:

- PLOC: Comunicación entre la subestación eléctrica y la red doméstica, conocida como Proveedor – Cliente o sistema de acceso outdoor. Es el tramo que va desde la red eléctrica hasta el medidor residencial de energía eléctrica.
- PLIC: Comunicaciones intra-hogareñas, utilizando la RED ELÉCTRICA

INTERIOR DE LA CASA para establecer comunicaciones internas (similar a redes LAN), conocido como sistema de acceso indoor y es el tramo que va desde el medidor del usuario hasta los toma de corriente. De gran aplicación en Domótica.

POWERNET

Nombre con el cual es comercializado en Alemania la tecnología Powerline Communications.

PPP

Siglas de Point-to-Point Protocol. Es un protocolo de comunicaciones utilizado para transmitir datos de la red a través de las líneas telefónicas. PPP permite comunicación directamente entre computadores de la red por medio de conexiones TCP/IP.

PROTOCOLO

Un protocolo es una serie de reglas que utilizan dos computadores para comunicar entre si.

PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN

Conjunto de normas que definen cómo se realiza el intercambio de datos entre computadores o programas computacionales, organizando el desplazamiento de la información a través de la red e indicando cuál es el origen de los datos, el camino que deben recorrer y el destino final, es decir, es como un lenguaje adoptado convencionalmente entre los usuarios de una red para que puedan comunicarse y entenderse entre ellos.

PSTN

Servicio de Red de Telefonía Pública.

R2

Protocolo utilizado en redes de telefonía del tipo E1.

RED

Es un conjunto de computadores (dos o más) que están unidos entre sí a través

de elementos de comunicaciones, que pueden ser permanentes (como cables) o bien temporales, como enlaces telefónicos u otros. Dependiendo de su tamaño, las redes se clasifican en L.A.N. (Local Area Network), M.A.N. (Metropolitan Area Network) y W.A.N. (Wide Area Network).

RED ENLACES

En el contexto de la Reforma Educacional chilena, el Ministerio de Educación inició en 1992 el programa de informática educativa, conocido como Red Enlaces. Enlaces tiene la mirada dirigida hacia el futuro, en el que se espera que estudiantes y profesores logren la aplicación curricular de estas tecnologías, para lo que se continuará reforzando la capacitación de los docentes, completando la dotación de equipamiento y recursos digitales a cada plantel. Asimismo, en términos de cobertura, Enlaces tiene como norte incorporar a la red, al mundo rural, completando las escuelas básicas pertenecientes en su mayoría a zonas aisladas del país, con las estrategias y contenidos pertinentes a su realidad.

RJ11

Conector de 4 contactos utilizado para conectar aparatos telefónicos.

RJ45

Conector de 8 contactos utilizado para interconectar redes de computadores basados en cable UTP.

ROUTER

Un router es una pieza de hardware o software que conecta dos o más redes. Asegura el encaminamiento de una comunicación a través de una red.

SIMPLEX

Transmisión de información en un solo sentido a través de un medio.

SLIP

Siglas de Serial Line Internet Protocol. SLIP es un protocolo que permite utilizar el TCP/IP en una línea telefónica por medio de un módem.

SPLITTER

Filtro utilizado en servicios de ADSL que permite diferenciar las frecuencias de voz y las frecuencias de datos.

SUBTEL

Subsecretaría de Telecomunicaciones.

T1

Servicio de transporte digital usado para transmitir una señal a 1.544 Mbps. Una trama T1 tiene 24 ranuras de tiempo (timeslots) o canales.

TCP/IP

TCP/IP son las siglas de Transmission Control Protocol/Internet Protocol, el lenguaje que rige todas las comunicaciones entre todos los ordenadores en Internet. TCP/IP es un conjunto de instrucciones que dictan cómo se han de enviar paquetes de información por distintas redes. También tiene una función de verificación de errores para asegurarse que los paquetes llegan a su destino final en el orden apropiado. IP, Internet Protocol, es la especificación que determina hacia dónde son encaminados los paquetes, en función de su dirección de destino. TCP, o Transmission Control Protocol, se asegura de que los paquetes lleguen correctamente a su destino. Si TCP determina que un paquete no ha sido recibido, intentará volver a enviarlo hasta que sea recibido correctamente.

TIC

Tecnologías de información y comunicación.

TOPOLOGÍA

Arreglo lógico o físico de nodos o estaciones en una red. Existen diferentes topologías de red (bus, anillo, estrella, malla).

UNIDAD TRANSCEIVER

Transductor. Dispositivo que recibe la potencia de un sistema mecánico, óptico, electromagnético o acústico y lo transmite a otro, generalmente en forma distinta. El micrófono y el altavoz son ejemplos de transductores. En comunicaciones es un transmisor receptor de señales de radio frecuencia, ópticas o electromagnéticas.

UPSTREAM

Flujo de datos que es enviado desde un computador remoto a un servidor.

URL

Siglas de Uniform Resource Locator. Es la dirección de un sitio o de una fuente, normalmente un directorio o un fichero, en el World Wide Web y la convención que utilizan los navegadores para encontrar ficheros y otros servicios distantes.

USB

Universal Serial Bus. Tecnología plug-and-play que interconecta un computador con otros dispositivos (teclado, ratón, impresora) sin la necesidad de apagar el computador. La tecnología USB fue desarrollada por Compaq, IBM, DEC, Intel, Microsoft, NEC, y Northern Telecom. Un puerto USB soporta velocidades de conexión de 12 Mbps.

VIDEO CONFERENCIA

Sistema que permite la transmisión en tiempo real de video sonido y texto a través de una red, ya sea de área local (L.A.N.) o Internet. El hardware necesario es una tarjeta de sonido y video, video cámara, micrófono y parlantes.

VOIP

Voz sobre IP. Se refiere a tecnologías usadas por las empresas de telecomunicaciones para prestar servicios de telefonía utilizando la red Internet.

W.A.N.

Siglas de Wide Area Network. Red que conecta computadores distantes por medio de líneas telefónicas o por otro tipo de enlace.

WLL

Wireless Local Loop. Tecnología de acceso a Internet y telefonía mediante enlaces de radiofrecuencia por sobre los 3.400 Mhz. Permite velocidades desde los 128 Kbps.

WORLD WIDE WEB

Literalmente tela de araña mundial. Antes de aparecer este servicio, los usuarios de la red tenían que manejar toda una serie de comandos y poseer cierto

nivel de conocimientos sobre sistemas operativos para poder hacer operaciones como copiar un archivo, mandar un mensaje. Al ir aumentando el número de usuarios se hizo necesario buscar herramientas que hicieran más sencillo el acceso a la información y el manejo de la misma. Se crearon servicios como GOPHER y World Wide Web. La ventaja de estos servicios fue su entorno gráfico y el poco uso de comandos escritos para realizar cualquier acción. Se puede considerar el web como una serie de archivos de texto, multimedia y otros servicios conectados entre sí por medio de un sistema de documentos de hipertexto.

X10

Lenguaje de comunicación que utilizan los productos compatibles X10 para hablar entre ellos. Lo que permite controlar luces, electrodomésticos de un hogar, aprovechando para ello la instalación eléctrica existente del hogar u oficina.

XDSL

xDSL se refiere a un grupo similar de tecnologías que proveen ancho de banda sobre circuitos locales de cable de cobre, sin amplificadores o repetidores de señal a lo largo de la ruta del cableado, entre la conexión del cliente y el primer nodo en la red.