



UNDÉCIMO ENCUENTRO REGIONAL
IBEROAMERICANO DEL CIGRÉ – XI ERIAC

COMITÉ NACIONAL PARAGUAYO DEL CIGRE
22 al 26 de mayo 2005 – Hernandarias – Paraguay

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TELECOMUNICACIONES BASADO EN LA TECNOLOGÍA
PLC, ORIENTADO A LA SATISFACCIÓN DE LAS NECESIDADES PROPIAS DE LA RED ELÉCTRICA Y
A LA PRESTACIÓN DE SERVICIOS PÚBLICOS DE TELECOMUNICACIONES**

ING. R. E. GÓMEZ

ENTE PROVINCIAL DE ENERGÍA DEL NEUQUÉN. (EPEN)

Argentina

RESUMEN Este trabajo presenta un panorama de las posibilidades y ventajas que ofrece la tecnología conocida como Power Line Communications (PLC), que en adelante denominaremos “Telecomunicaciones por la Red de Energía Eléctrica” (TRE), para satisfacer las necesidades propias de la red de distribución de energía eléctrica, dejando un potencial importante para la prestación de servicios públicos de telecomunicaciones.

También se analiza la evolución de esta tecnología en cuanto a los tipos de modulaciones utilizadas para el acceso al medio de enlace.

El trabajo espera ayudar al conocimiento de esta nueva tecnología y dar los elementos necesarios para debatir acerca de las implicancias de su uso.

Dado que los mayores avances en esta tecnología se registran en Europa, Estados Unidos e Israel, entre otros países extranjeros, se utilizarán los acrónimos en español hasta donde sea posible.

PALABRAS CLAVE

Telecomunicación – Power Line Communication – BPL
– Teleoperación – Internet – Transmisión de Datos

1. INTRODUCCIÓN

El Ente Provincial de Energía del Neuquén, (EPEN) es una empresa de transporte y distribución de energía eléctrica de propiedad pública, con jurisdicción en la Provincia del Neuquén, ubicada en la Patagonia de la República Argentina, cuyo Directorio y Órganos de Control son compartidos entre representantes elegidos unos por el Poder Ejecutivo Provincial y otros en forma directa por los empleados del Ente.

R.E.Gómez (EPEN) Calle La Rioja N° 385. CP8300. Neuquén. Argentina. - Email: rgomez@epen.gov.ar

El EPEN viene desarrollando un proyecto piloto denominando “Telecomunicaciones por la Red de Energía Eléctrica (TRE)”, tendiente a los siguientes objetivos:

- a) Propender a la automatización de sus redes de distribución con el objeto de aumentar su calidad de servicio, para lo cual requiere disponer una red de telecomunicaciones que acompañe la de distribución eléctrica.
- b) prepararse para la prestación de servicios públicos de telecomunicaciones en donde resulte conveniente su participación con miras al bien general.

Los sistemas TRE deben proveer como mínimo los servicios de Telefonía, Fax, Acceso a Internet, y transmisión de Datos en entorno de red de área local virtual (VLAN), para una capacidad final creciente en forma modular.

2. CONSIDERACIÓN DE LA TECNOLOGÍA TRE

La elección de la tecnología TRE (PLC o Power Line Communications, en idioma inglés) tuvo lugar por tratarse de la que mejores ventajas comparativas ofrece a las compañías distribuidoras de energía eléctrica en áreas de mediana y baja densidad poblacional, siendo estas las características del mercado atendido por el EPEN.

Permite de manera natural la interconexión de los elementos de comando y control como reconectores, medidores y otros de la red eléctrica entre sí y con los centros de maniobra, dejando abundante capacidad ociosa para la prestación de servicios de telecomunicaciones y/o comando de dispositivos de terceros.

Esta tecnología está ya suficientemente desarrollada y en proceso de optimización, especialmente en lo que hace a lograr menores niveles de señal sobre la red eléctrica y cumplir con los requerimientos de compatibilidad electromagnética.

Para la factibilidad de su adopción y determinar los alcances y detalles generales del proyecto, se efectuaron pruebas y estudios con diferentes productos TRE del mercado de diferentes tipos de tecnología de acceso al medio, como la modulación GMSK y la de Espectro Ensanchado (Spread Spectrum), en la localidad Neuquina de Villa La Angostura, cuidando mantener el escenario para que los resultados fueran comparables. Están previstas, pero no concretadas a la fecha de este artículo, pruebas con equipos que utilizan la multiplexación por división de frecuencias ortogonales (OFDM).

Una implementación del núcleo principal de una red TRE del EPEN en una localidad de su jurisdicción está ya proyectada previéndose su implementación el corriente año, avanzando luego tan rápido como sea posible en la penetración de la misma, adaptando la estructura interna de la empresa para la prestación de los nuevos servicios públicos.

3. LOS SISTEMAS TRE

3.1. Generalidades

El antecedente más conocido de los sistemas de telecomunicaciones por redes de distribución de energía eléctrica, nombrados en idioma inglés primeramente como Powerline Communications (PLC), y más recientemente como Broadband Powerline (BPL), es el denominado “Onda Portadora por Línea de Alta Tensión” (OPLAT), pionero en aprovechar la inyección de una portadora modulada en amplitud para proveer la transmisión de canales de telefonía, de datos de baja velocidad y de diálogo entre protecciones de la red eléctrica. Sin embargo los sistemas TRE tienen capacidad de proveer una tasa de transferencia de datos significativamente más alta (miles de veces), lo que se logra en base a mayores anchos de banda y tecnologías de modulación digital de alta inmunidad al ruido.

TRE utiliza las mallas eléctricas de media y baja tensión para su distribución, en topología de estrellas y anillos, mientras que OPLAT utiliza líneas de Transmisión eléctrica para el transporte de la señal.

Otros sistemas que utilizan la red de distribución y pueden considerarse como antecedentes más cercanos

son los utilizados para tele lectura de medidores de energía, con velocidades típicas de 9600 y 19200 bits/seg. existiendo algunas implementaciones que utilizan muy bajas frecuencias y velocidades binarias para lograr que la señal atravesara los transformadores de media tensión hasta la red de baja tensión. Algunos sistemas de telemando se han implementado bajo tales características. Estos sistemas funcionan con protocolos de comunicaciones propietarios, en la gran mayoría de los casos.

A diferencia de los anteriores los sistemas TRE proveen conexiones de banda ancha bajo protocolo IP, que es el mismo utilizado en la Internet y en la mayoría de las redes corporativas, siendo ampliamente accesible al público. Por ello se vienen revelando como eficaces y competitivos en costos como sistemas de “última milla” para servicios de datos, voz e incluso video en banda ancha, y se complementan con otras implementaciones que interconectan a través de las instalaciones eléctricas internas de casa, oficinas y edificios computadoras y periféricos.

3.2. Normalización

En Europa la norma CENELEC EN50065 ha establecido en los años 80 para TRE la banda de 3 a 148,5 kHz, subdividida en cinco sub bandas. La tensión de pico permitida para la señal es de 5V.

En EEUU la FCC permite operación entre 0 y 530 kHz y nuevamente a partir de 1705 kHz, preservando así la banda de radiodifusión AM.

En aplicaciones “in home” el protocolo HomePlug 1.0 establece modulación OFDM con portadoras comprendidas entre 0 y 25 MHz. (usualmente desde 4,5 hasta 21 MHz).

En Japón es permitida una banda entre 10 y 450 kHz.

4. ARQUITECTURA DE LOS SISTEMAS TRE.

Los sistemas TRE consisten en dispositivos terminales (modems) que se enchufan en la red de suministro eléctrico no sólo para alimentarse sino para utilizar ésta como medio de para el enlace de datos a otros terminales ubicado en la misma red o una vecina. Estas unidades de usuario (UU) proporcionan interfaces para datos (USB, Ethernet) y eventualmente telefonía analógica sobre 2 hilos (FXS).

Las UU reportan a unidades de concentración (UC), y estas a su vez a enrutadores (routers) y/o conmutadores (switches) para producir conmutación local o hacia otras redes (Telefonía Pública, Internet, etc.). Las UC suelen tener la capacidad de establecer entornos VLAN, pudiendo prescindir del enrutador para este servicio.

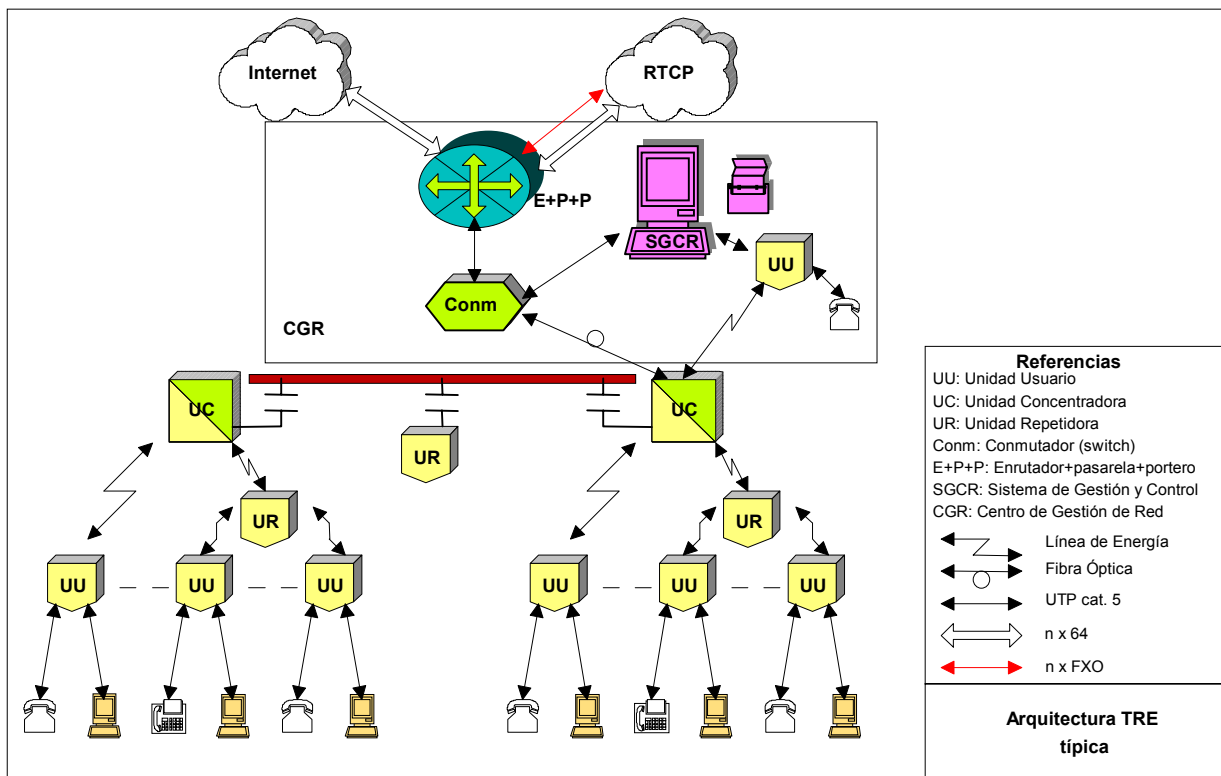


Fig. 1. Topología usual de un sistema TRE

Las UC se colocan generalmente “al pie” de los transformadores de Media a Baja tensión, y con sus corresponsales UU conforman “celdas”, en las cuales se introducen repetidores (UR) para favorecer la cobertura de señal sobre la red. Las unidades de una celda comparten un ancho de banda bajo demanda, que actualmente oscila entre 10 y 45 Mbps según el proveedor. Ya hay en desarrollo soluciones de hasta 200 Mbps. Estos anchos de banda son totales, es decir transmisión más recepción.

En los sistemas TRE de última generación cada UC puede abastecer hasta 256 y aun 512 UU, si bien regularmente la densidad de clientes por concentrador no alcanza estas cifras. Algunas soluciones de mercado permiten interconectar estas celdas entre sí y/o con el enrutador central utilizando como enlace troncal las redes de media tensión (en Argentina usualmente 13,2 kV). En la figura 1 se muestra una arquitectura TRE típica.

5. EVOLUCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

Hay varios diferentes fabricantes de sistemas TRE, que utilizan para sus unidades alguno de los circuitos integrados que se han desarrollado especialmente para estas aplicaciones. Estos se diferencian especialmente en la técnica de acceso al medio, aun cuando en general son todas muy modernas y eficientes, con altos rendimientos Bit/Baudio, inmunidad al ruido y tolerancia a los cambios eléctricos del medio.

Se ha ido observando una paulatina convergencia en la que mayores ventajas ofrece, que es la OFDM. Si bien las implementaciones basadas en otras técnicas, como espectro ensanchado, se han reportado muy

satisfactorias, parecen claudicar cuando se desean tasas de transmisión (anchos de banda) mayores a los 2,5 MHz. En todos los casos la conectividad del usuario está proporcionada en base al conjunto de protocolos TCP/IP, como ya se dijo, proveyendo a los equipos terminales capacidades multimedia en base a los estándares UIT – T H.323 y complementarios.

Los avances de la tecnología de la información y la multimedia han creado la necesidad de velocidades de transferencia de datos en banda ancha a muchos dispositivos diferentes simultáneamente, para lo que la TRE propone una solución satisfactoria tanto técnica como económicamente.

6. SOBRE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Como elemento “agregado” a la instalación eléctrica el sistema TRE está sujeto a las limitaciones que ella le impone. En una red eléctrica de potencia 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 de comunicaciones para datos a determinadas frecuencias y situaciones de carga de potencias provoca que algunas de estas frecuencias prácticamente desaparezcan. La atenuación sufrida en estos “ceros” cambiará dependiendo donde estén ubicados los dispositivos interconectados y que otros dispositivos (aparatos, etc.) se conectan a la red.

Los TRE de banda ancha en los cuales la velocidad de transferencia de datos es muy alta utilizan portadoras en

el rango de 2 a 30 MHz. El uso de estas frecuencias más altas significa una mayor atenuación en el cable y longitudes de onda más cortas, que en relación con las longitudes típicas de estas redes eléctricas aumenta la probabilidad de “ceros” y la capacidad de irradiar, por lo que se incrementa la posibilidad de interferencia con otros sistemas de telecomunicaciones.

Este nivel de ruido eléctrico general en la red requiere de los sistemas TRE niveles más altos de codificación y de detección de errores, lo que justifica técnicas de modulación robustas.

Por otra parte es posible que zonas de la red eléctrica formen “islas” como consecuencia de la acción de interruptores o seccionadores, que aislen a unas unidades de usuario de su concentrador principal. Los sistemas TRE más desarrollados resuelven este problema incorporando capacidad de redireccionamiento o “reaprovisionamiento” de las unidades y repetidores, los que recuperan el tráfico a través de los concentradores secundarios a los que en la nueva topología de la red eléctrica puedan acceder. Los repetidores a su vez pueden encadenarse hasta poder reportarse a un concentrador.

La disponibilidad de conexión de los repetidores con un concentrador secundario en caso de interrupción parcial de la red, y/o de los repetidores entre sí, debe ser considerada en el diseño de la topología del sistema TRE

Con respecto a los tipos de redes de los proveedores de servicios eléctricos alrededor del mundo, se encuentran importantes diferencias; por ejemplo, la diferencia entre Argentina (220 volts/50 Hz) y EE UU (120 volts/60 Hz).

Existen otras diferencias importantes en cuanto a la configuración de la red y la potencia media que consume cada casa, siendo la característica principal para utilizar la tecnología TRE como última milla es si las líneas están balanceadas, en caso de ser así el sistema de banda ancha puede compensar los ruidos externos y también es menor el nivel de emisión electromagnética.

En el EE.UU., Europa y Japón, se utilizan líneas de energía balanceadas en los usuarios finales (bifásicas). En Australia, Inglaterra, Argentina se utilizan circuitos de líneas eléctricas desbalanceadas (monofásicas).

La instalación eléctrica interior generalmente, se compone de conductores en paralelo muy próximos y en canalizaciones embutidas lo que limita la radiación electromagnética. Típicamente, las redes de distribución de suministro de energía eléctrica están al

aire libre y se constituyen con conductores separados, lo que hace niveles de radiación más altos.

7. APLICACIONES DE SISTEMAS TRE

Las aplicaciones para estos sistemas pueden categorizarse de la siguiente manera:

- aplicaciones internas (Vivienda adentro - in Home)
- última milla

7.1 Aplicaciones internas (in Home)

Los sistemas TRE de banda ancha son atractivos como servicios de datos en edificios por que no requieren ninguna instalación adicional, simplemente mantener enchufados los equipos. Dentro de un mismo edificio estas aplicaciones permiten conectar periféricos como heladeras, microondas, impresoras, fotocopiadoras, dispositivos de comunicaciones etc. y configurar redes de computadoras. El edificio podría ser una casa, un bloque de departamentos u oficinas. Consideramos que en esos casos los trayectos de tendido de red eléctrica de potencia no supera los 100 m entre los dispositivos.

7.2 Aplicaciones de última milla

Primariamente desde el punto de vista de la empresa propietaria de la red eléctrica, el sistema TRE es un excelente medio para proporcionar las conexiones necesarias con los medidores de energía, registradores de demanda y equipos de supervisión y telecomando de la red de distribución eléctrica. En efecto hoy en día la mayoría de estos dispositivos ya están preparados para dialogar bajo protocolo IP, o bien pueden adaptarse fácilmente para ello.

La capacidad de banda ancha del sistema TRE permite pensar además en la colocación de cámaras de video de bajo costo (webcams) para visualizar a distancia los elementos críticos e incluso detectar intentos de vandalismo.

Disponiendo junto a los dispositivos diseminados por la red eléctrica unidades de usuario conectadas a interfaces IP de los mismos, se dispone de un medio con una buena relación costo/beneficio, cuyo medio de transmisión está totalmente bajo el control de la compañía.

Cuando la topografía de la zona donde presta servicio la red eléctrica es accidentada, TRE es una alternativa aun más interesante en comparación con sistemas de radio que requerirían múltiples repetidores para funcionar convenientemente.

Nótese además que unidades concentradoras y repetidoras están dispuestas físicamente junto a transformadores y/o en lo alto de las estructuras soporte

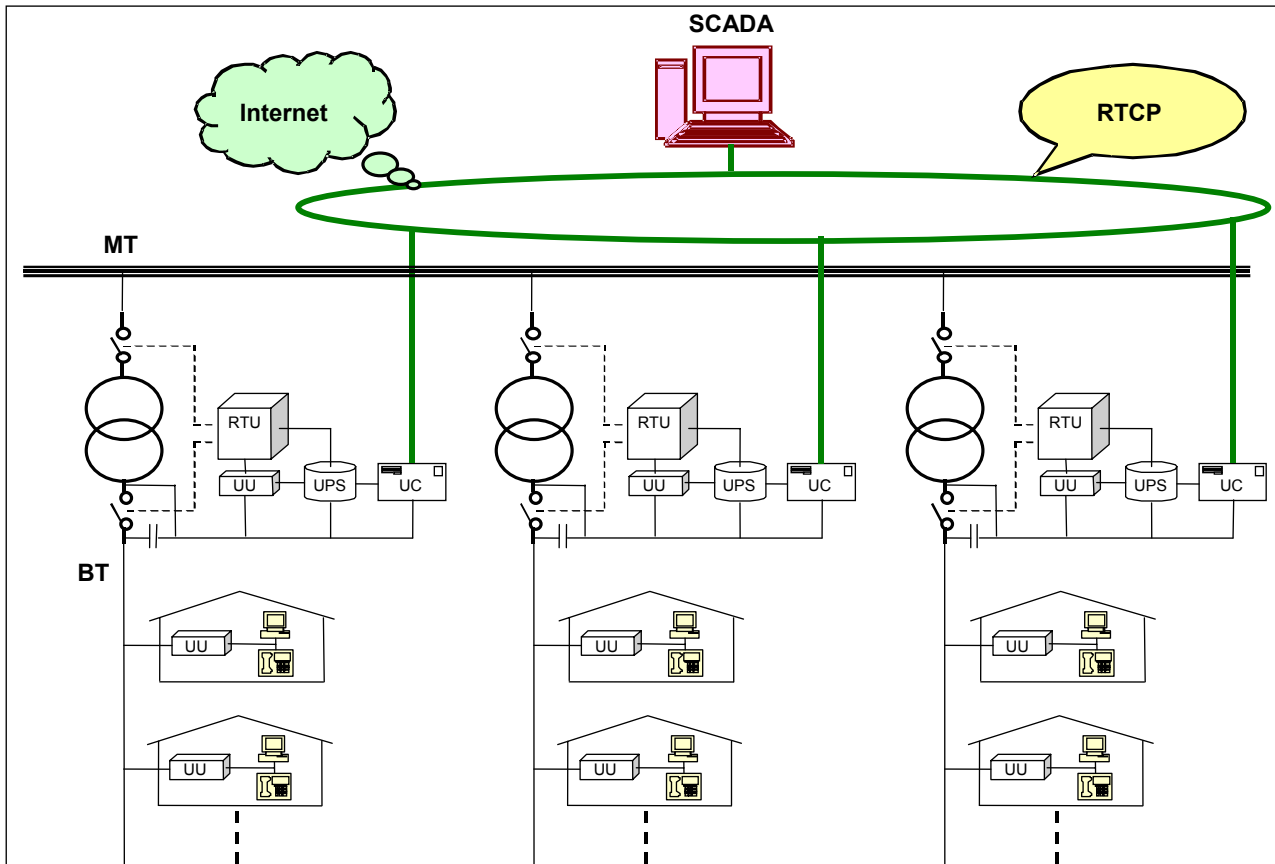


Fig. 2. Control de la red de energía y telecomunicaciones públicas integrados en un mismo sistema TRE

(postes), y vinculadas al potencial de la red. Todo esto, más el hecho que se trata de equipamiento específico para redes eléctricas y con un mercado muy focalizado disminuye el riesgo de robo del equipamiento, y de daños por vandalismo. Un esquema se muestra en la Fig.2.

Considerando que de cada concentrador con capacidad de, digamos 45 Mbps, los servicios propios de la red eléctrica consuman 1 Mbps (incluyendo video de buena definición), queda una capacidad ociosa de 44 Mbps para brindar servicios de telecomunicaciones públicas. Estas aplicaciones incluyen la distribución en oficinas y casas o edificios, de acceso a la Internet y otros servicios de banda ancha a través de la red de distribución eléctrica. Además también permite proporcionar voz (telefonía IP), video bajo demanda (VOD), sistemas de vigilancia, etc. Es importante destacar que los sistemas propios de la red eléctrica deberían disponerse en un entorno de red Lan virtual (VLAN), de modo de permanecer aislados del resto de los equipos de los usuarios públicos, por razones de necesaria seguridad.

Hay ya experiencia acumulada de estas aplicaciones en diferentes países donde la densidad de edificios, o la distribución geográfica de los usuarios hace atractivo y competitivo el utilizar esta tecnología. Como ejemplo podemos citar a la firma alemana MVV Manet, con su

servicio Vype brindando Internet de banda ancha y telefonía pública en la ciudad de Manheim. Otros prestadores Alemanes son Drewag, con "Powerkom" en la ciudad de Dresden; Linzag AG, con "Speed-Web" en la ciudad de Linz; sin agotar la lista. En la ciudad de Crieff (Escocia) opera Scottish Hydro Electric su servicio "Broadband". La experiencia comercial más importante parece ser la de Endesa/Auna en las ciudades españolas de Zaragoza (desde 2003) y Barcelona (desde 2004). Varios operadores están esperando los resultados de estas explotaciones comerciales para lanzar sus propios servicios.

En Argentina el Ente Provincial de Energía del Neuquén ha presentado un proyecto a la Secretaría de Comunicaciones para ser Prestador de Servicios de Telecomunicaciones, basado en una red PLC en la ciudad de Villa la Angostura, Provincia del Neuquén. Cabe acotar que el mismo satisfizo sin inconvenientes los aspectos técnicos y económicos requeridos.

8. PROBLEMAS QUE PUEDEN PRESENTAR SISTEMAS TRE

Hay varios problemas presentados por la introducción de la banda ancha en redes de energía eléctrica en los sistemas de comunicaciones. Estos problemas pueden categorizarse en tres áreas y también lo referido a la compatibilidad:

- entre las redes privadas y públicas

- políticas de telecomunicaciones
- interferencia en radiocomunicaciones

8.1 Problemas de compatibilidad entre la red de distribución pública y la instalación interna

Las aplicaciones mencionadas anteriormente, uso interno (in house) y de última milla, no son necesariamente compatibles. La interconexión eléctrica entre la red pública y el usuario final no tienen aislamiento entre ellas, por lo que el sistema TRE en la red de distribución pública y la red en la instalación interna puedan tener interferencias entre los sistemas interno y externo, en caso de no compartir el protocolo de acceso al medio. La resolución de estos problemas necesita de un estudio muy detallado y de diversos acuerdos de las empresas proveedoras del servicio eléctrico y de los entes reguladores de los mismos.

8.2 Problemas con las radiocomunicaciones

Las interferencias de los sistemas de energía eléctrica en los sistemas de telecomunicaciones son muy conocidos como los generados por arcos en sistemas de interruptores las descargas por efecto corona y descarga por aisladores sucios son los principales. A los ya mencionados problemas es necesario agregar los posibles efectos de los sistemas TRE, en especial cuando se utilizan como última milla, que dado a las potencias que manejan, frecuencias más altas, longitudes de cableados con una relación más cercana a la longitud de los cableados provocan una irradiación en las frecuencias de 3 a 30 MHz provocando interferencias en los sistemas de telecomunicaciones, en especial en la banda de HF del espectro, actualmente esto involucra la banda de Radioaficionados, marítima, de aeronáutica y señales de radionavegación terrestre. Las comunicaciones de HF son particularmente importantes para enlaces de largas distancias, y algunos de estos servicios tienen implicancia en los sistemas de defensa o de seguridad.

9. PRUEBAS DE CAMPO

Se hicieron pruebas con equipamiento TRE que utiliza modulación GMSK y con modulación de espectro ensanchado para acceder al medio, sobre una red eléctrica conformada con conductores del tipo preensamblados, de 50 mm² de sección. Se efectuaron mediciones de la disponibilidad de los nodos de la red y del retardo de los paquetes IP. También de la calidad de la voz recibida. En cuanto a estos parámetros se encontró que en cualquiera de los sistemas la distancia máxima útil entre UC y UR/UU era del orden de los 150 mts.

El sistema basado en GMSK resultó mucho más vulnerable al ruido dependiente de la actividad de la red eléctrica, saliendo de servicio en horas de mucho consumo de potencia eléctrica (mayor ruido en línea) y retornando al servicio pasados los picos. Esta dependencia del ruido quedó evidenciada además por la variación de los retardos experimentada en los paquetes

emitidos con el comando “ping”, así como en la comunicación telefónica.

El sistema basado en espectro ensanchado resultó mucho más eficiente, de rápida puesta en marcha y poco vulnerable al ruido, para las mismas distancias y ubicaciones de nodos de la red, y con retardos de paquete sustancialmente menores al anterior. Como este sistema tiene capacidad de reaprovisionamiento se hicieron pruebas al efecto, redireccionándose automáticamente los tráficos con muy poca demora. Si bien se notó también dependencia con la situación de carga de la red eléctrica, no se registró indisponibilidad del servicio.

10. CONCLUSIONES

Los sistemas TRE son una importante y racional propuesta para el establecimiento de redes de telecomunicaciones de voz, datos y video, tanto para satisfacer las necesidades propias de la operación y mantenimiento de las redes eléctricas como para la prestación de servicios públicos de comunicaciones. Posibilitan mayor productividad de las redes existentes de energía eléctrica, constituyendo un Servicio de Valor Agregado para sus compañías propietarias o concesionarias.

En zonas donde la oferta de servicios no satisface la demanda, y especialmente en zonas de topografía accidentada y baja densidad demográfica que cuenten con red eléctrica, esta tecnología puede resultar la alternativa técnica y económica más viable.

Los problemas de radiación electromagnética, en cualquier caso, son inferiores a los producidos por las redes radioeléctricas. Éstas constituyen permanentes fuentes de conflictos con el público, sobre todo ante la instalación de estaciones repetidoras no sólo por el impacto visual sino principalmente por el riesgo biológico que supone la exposición de la población a ondas electromagnéticas de alta frecuencia. TRE puede ser la respuesta superadora de estos conflictos, permitiendo a las empresas de distribución eléctrica aumentar sus servicios y su facturación, ocupando más mano de obra calificada.

11. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS ÚTILES

- (1) COPITEC: Revista “Coordenadas” N° 63 – Agosto 04
- (2) <http://www.plcforum.org>
- (3) <http://www.homeplug.org>
- (4) <http://www.ds2.es>
- (5) <http://www.dimat.es>
- (6) <http://www.itrancomm.com>
- (7) <http://www.mainnet-plc.com>
- (8) <http://www.ascom.com>
- (9) Master Thesis – Powerline Carrier (PLC)
- (10) Communication Systems: Khurram Hussain Zuberi

(11) Master of Science in Internetworking – (12)
Department of Microelectronics and
Information Technology, IMIT
Royal Institute of Technology, KTH, Stockholm,
Sweden - http://www.it.kth.se/~iw01_zkh