



## APLICACIONES INDUSTRIALES

### **Desarrollo y síntesis de una red de área local de datos dedicada para tele- medición**

### ***Development and synthesis of a local area data network dedicated for tele – measurement***

Fernando - Murillo  
Osmel- Fonseca

Recibido: Marzo del 2009  
Aprobado: Junio del 2009

#### **Resumen/ Abstract**

En el siguiente trabajo se confirma la viabilidad del uso de los circuitos seleccionados, como canal eléctrico de telecomunicaciones, mediante pruebas de campo: análisis espectral de la respuesta del medio con señales de RF acopladas de forma electromagnética en los conductores eléctricos de los circuitos de potencia y cubriendo el espectro de utilización (2 - 34 MHz). Se presentan los resultados de las pruebas de transporte de datos con un sistema de gestión portátil a fin de verificar la interconexión de los dispositivos de red mediante chequeo de los parámetros de red de datos: velocidad alcanzada por el canal eléctrico de telecomunicaciones, respuesta al comando PING, eficiencia del canal: bit por Hz, relación de señal a ruido (SNR). Finalmente se presenta la topología de red sugerida para el transporte de la tele-medicación de datos de contadores de energía de las subestaciones de Distribución previamente mencionadas hasta los centros de procesamiento de datos del cliente interno.

Palabras claves: CCCT, BPL, información de contadores de energía, canal eléctrico, parámetros de red de datos, topología de red

*The viability of the use of the circuits selected is confirmed, as electric channel of telecommunications by means of field trials: spectral analysis of the answer of the media to RF ( radio frequency ) signals electromagnetically coupled in the electric conductors of power circuits and covering the spectrum of utilization (2 - 34 MHz). The results of the data transportation simulation tests made with a portable management system are presented in order to verify the interconnection of the devices of network by means of checking network parameters data: Velocity reached by the electric telecommunications channel, answer to the PING command, the channel efficiency: Bit per Hz, Signal to Noise relation (SNR). Finally the topology of network suggested for the energy meter data transportation from Distribution Sub-Stations to the data processing centers ( internal clients ) is presented.*

*Keys words: CCCT, BPL/PLC, energy meter information, electric channel, data network parameters, topology of electrical network. Distribution Sub-Stations, topology of BPL/PLC network*

#### **INTRODUCCIÓN**

Mediante el presente trabajo se plantea como objetivo fundamental la creación de una plataforma de comunicaciones ó red LAN de datos que permita interconectar, los contadores de energía, ubicados en 7 subestaciones de distribución ubicadas en el CCCT Chuao, con un centro de procesamiento de la data obtenida y

ubicado en el edificio sede de la compañía EDC, la cual es la suplidora del fluido eléctrico para la ciudad de Caracas, en San Bernardino y así disponer del servicio de tele-medicación de energía requerido para el CCCT. El interés de este trabajo reside en validar el uso de las infraestructuras del cableado eléctrico de

mediana tensión para uso como canal PLC de telecomunicaciones, sirviendo de este modo para la aplicación en la tele - medición automática en Subestaciones de Distribución [1].

Se presentarán: el escenario de ubicación del proyecto, las características eléctricas del cableado de subestaciones, la topología de red de distribución, las características de los contadores de energía, canal eléctrico PLC, parámetros del canal eléctrico, implantación de red LAN de comunicaciones con acoplamiento a la red de potencia y su topología, pruebas de rendimiento de la red de comunicaciones en CCCT, topología de red LAN resultante para esta aplicación. Ver figura 1.



**Fig. 1 Panorámica del Centro Ciudad Comercial Tamanaco.**

#### ¿Qué es PLC/BPL?

PLC ó BPL (Broadband power line), es una tecnología de transmisión de datos utilizando como medio la red eléctrica, la cual se emplea para telecomunicaciones de banda ancha, permitiendo tener acceso a múltiples servicios como internet y los relacionados con protocolos IP.", en lo sucesivo se utilizará el acrónimo PLC ( Power Line Communications ) para referirnos a esta tecnología.[2].

#### Escenario de ubicación del proyecto

En el centro comercial ya mencionado, funcionan más de novecientas oficinas y un hotel distribuidos en cuatro torres, aproximadamente quinientos locales, incluyendo además restaurantes, una feria de comida rápida, cuatro

salas de cine, un salón de fiestas y banquetes, áreas de conferencia, notaría, auto-mercado y lugares nocturnos; un área significativa destinada al estacionamiento de 6.000 vehículos, todo esto, en si representa un icono de la arquitectura moderna de Caracas. En uno de los sótanos de estacionamientos se encuentran ubicadas siete subestaciones de distribución, sirviendo de puntos de transformación de energía para dicho centro comercial. Para el cableado de energía MV de 12,5 KV, se utilizan canalizaciones con tuberías Conduit de pared gruesa y empleando cajas de paso para giros y cambio de dirección del cableado.

#### Materiales y métodos

Características eléctricas del cableado MV en subestaciones del CCCT.

**Cables:** Conductor monopolar, PLT 15, 250 MCM, aislamiento con polietileno reticulado y cubierta con cloruro de polivinilo ( PVC ), tensión de aislamiento al 100% en 15 KV. Conductor de cobre ( ASTM B230 ) realizado con 37 hilos trenzados. Esta conformado por: pantalla del conductor, aislamiento, pantalla del aislamiento, pantalla metálica y cubierta (ver figura 2), fabricación según recomendaciones de las normas: ICEA, S-66-524, AEICCs5 y UL – 1072.[3]

#### Topología de la red de distribución

El componente clave del sistema de energía eléctrica del CCCT son sus Subestaciones y cableados de interconexión y distribución.

Hacer que dichas Subestaciones operen de forma confiable, segura y económica es el objetivo, lográndose así un suministro continuo del fluido eléctrico. Las tecnologías orientadas al monitoreo de dichas Subestaciones como son: tele - medición, control y protección, son requeridas para alcanzar las expectativas de demanda de los modernos sistemas eléctricos y sus usuarios.

El sistema de distribución de energía eléctrica del CCCT opera con una tensión primaria de 12,5 KV, el cual sule a la red de baja tensión mediante las Subestaciones de transformación de 12,5 KV/120,208, 60 Hz, cada una de éstas equipadas con 1, 2 ó 3 transformadores, con potencias que van en un rango de 333 - 444 KVA.

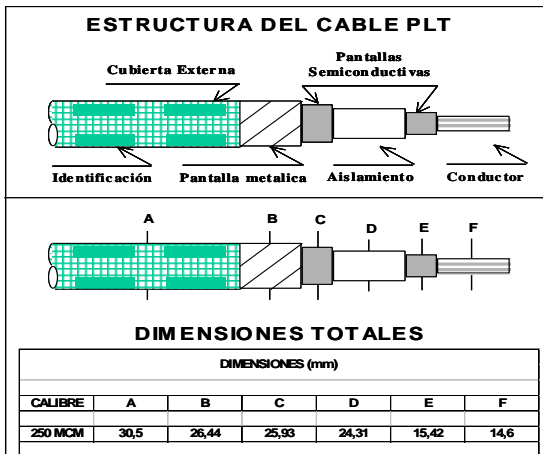


Fig. 2

Dichas subestaciones se encuentran alimentadas de un bus radial conformado de 5 alimentadores trifásicos, los cuales a su vez se alimentan a partir de una interconexión en 12,5 KV, desde una subestación externa mayor. Cada transformador se alimenta mediante uno de los mencionados alimentadores por vía de un interruptor normalmente cerrado y en caso de falla de dicho alimentador existe el respaldo, con otro de los cuatro circuito restantes, mediante el correspondiente interruptor el cual se encuentra normalmente abierto, esta topología se denomina “cluster estándar MV en doble derivación con 5 circuitos” [4]. Las interconexiones del cableado de potencia, se realizan mediante elementos en “T”, lo que desde el punto de vista del canal eléctrico de telecomunicaciones constituye un cambio de medio físico, en consecuencia se tienen pérdidas por atenuación muy importantes de la señal PLC además de cambios de impedancia importantes en los circuitos. Ver figura 3 , el diagrama simplificado de la interconexión en MV del bus de energía y las conexiones radiales de las Subestaciones. [5]

### Interferencias en la red eléctrica

La señal utilizada para transmitir datos a través de la red eléctrica con la tecnología PLC, se encuentra disponible en una banda entre 1,5 a 34 Mhz, las frecuencias en dicha banda se encuentran muy alejadas de la frecuencia de la red eléctrica convencional (60 Hz.), por lo tanto las posibilidades de interferencias entre ambas señales son nulas. De este hecho resulta que las señales de ruido e interferencia producto de los armónicos de la frecuencia de red (60 Hz.) tienen un impacto prácticamente nulo sobre las señales del canal eléctrico.

De otra parte las características de los circuitos de mediana tensión, en el rango de frecuencia PLC, esta relacionada principalmente con la impedancia de los cableados entre Subestaciones, los cuales a su vez son

dependientes de las características intrínsecas de los conductores: conformación de capas de los cables, longitudes y diámetros de los conductores además de la topología de la red eléctrica y las cargas conectadas y reflejadas del lado primario de los transformadores de potencia. En consecuencia influyen decisivamente en la respuesta del canal observadas en los puntos de acoplamiento de las señales PLC. [6]

### Modelo de línea

Un cable sirviendo de conductor eléctrico responde de forma general al modelo de línea [7]. El propósito de esta formulación es dejar en evidencia el comportamiento de los circuitos eléctricos de potencia como filtros “paso bajo” y en grado menor el efecto resonante debido a los elementos L – C presentes, de allí la importancia del estudio y caracterización del canal eléctrico en frecuencias relativamente bajas ( 2 – 8 MHz ), pues esta parte de espectro es la de mayor utilidad para el transporte en el caso de los conductores de señales en MV. Ver figura 4, modelo simplificado del modelo de línea. Así tenemos como resultados para el tipo de cable de esta aplicación en algunas decenas de ohmios para las frecuencias de trabajo del canal. La teoría nos indica que la máxima transferencia de energía se realiza en un canal, desde un equipo de transmisión cuando las impedancias del transmisor  $Z_t$ , del canal ( característica )  $Z_c$  y del receptor  $Z_r$  se igualan, esto permite visualizar las dificultades al tratar de ecualizar las condiciones reales antes descritas.

### Perturbaciones en los circuitos eléctricos

En una red eléctrica de mediana tensión, las operaciones de conexión y desconexión de los equipos de protección ( interruptores ) es poco frecuente y muy distanciados en el tiempo, pues las transiciones de estado de los dispositivos de interrupción de la red eléctrica de abierto a cerrado y viceversa duran unos cuantos milisegundos. Durante las maniobras de los dispositivos de protección: interruptores, la impedancia del canal se desbalancea a tal punto que los equipos de PLC de la red pudieran perder la señal de comunicaciones, vale decir en forma momentánea, esto como consecuencia de la generación de señales de ruido de tipo impulsional, con espectro y potencia suficientes para sobreponerse a las señales de comunicaciones. Sin embargo la duración de dichos fenómenos es de muy corta duración como se ha destacado previamente.[7]. Esto permite que la red de mediana tensión estudiada pueda constituirse en un medio estable vis a vis de dichas perturbaciones momentáneas, permitiendo así su utilización como medio de telecomunicación con la tecnología PLC.

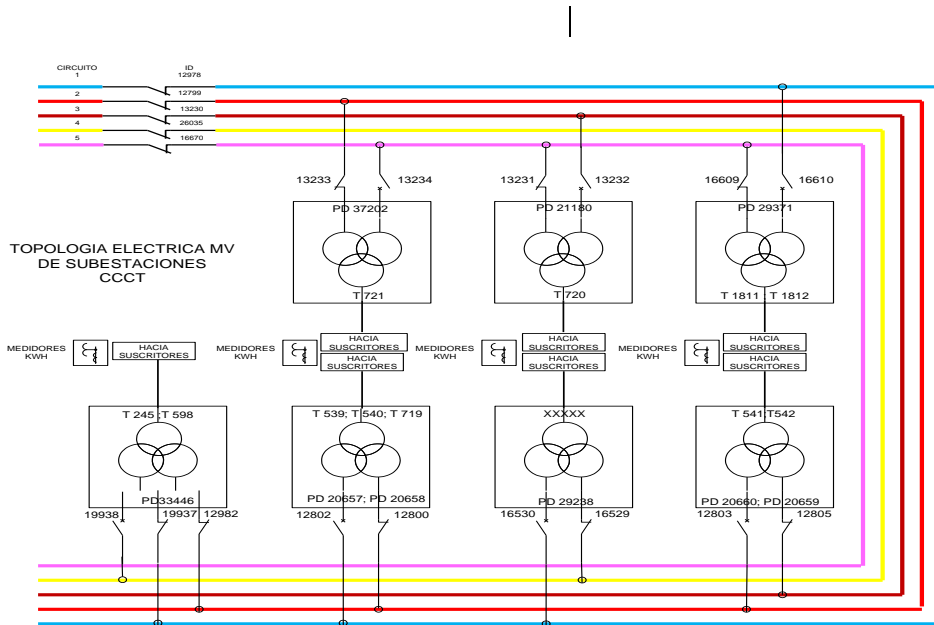


Fig.3. Características del canal eléctrico en cableados MV de subestaciones del CCOT.

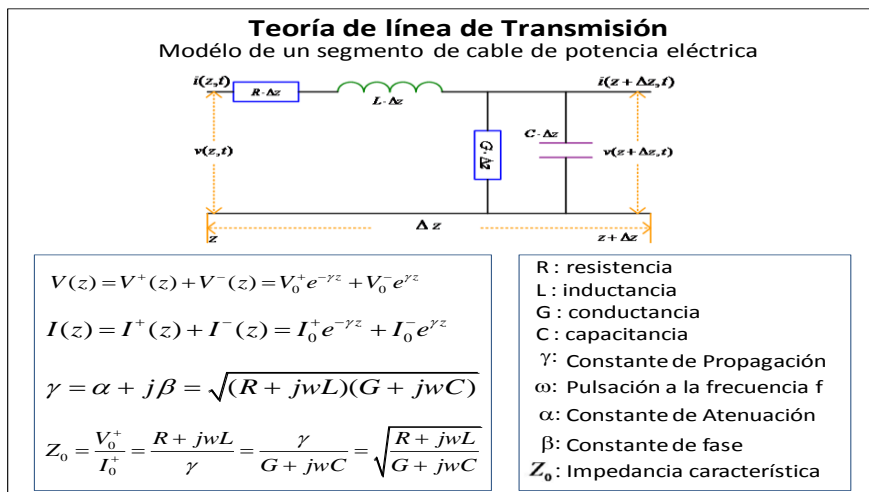


Fig.4.

**Consideraciones de la implantación del canal de comunicaciones**

En ésta parte del trabajo se propondrá exponer la implantación en forma experimental de un canal eléctrico, mediante pruebas en la capa física, esto es medición de los parámetros de telecomunicaciones del canal, en los tramos de cableados que conforman la topología resultante y en los equipos de telecomunicaciones que la conforman, a fin de realizar la red LAN requerida mediante la implantación de tecnología PLC. [8].

**Selección de cableados**

Observando la topología eléctrica de la red se han seleccionado y estudiado los tramos de cableados MV entre Subestaciones que permitan

Tomando en consideración el que el espectro de ruido base se genera principalmente debido a la generación probabilística del ruido de origen térmico por el transporte de corriente en los conductores, por lo que esta característica se tendrá en cuenta en los entornos de Subestaciones donde existe calentamiento de los conductores del canal por efecto de convección térmica principalmente desde los transformadores de potencia hacia los cables.[9] integrar una red LAN tipo BUS tal como se observa en la figura 5.

## RESULTADOS

### Ruido base

Se ha realizado un estudio de ruido base y respuesta en frecuencia en la banda de utilización de 1,5 hasta 34 MHz a fin de validar su utilización. Para obtener la información de ruido base se ha dispuesto de un analizador de espectro, con sensibilidad de hasta -70 dbm y haciendo el muestreo con acopladores inductivos en forma similar al esquema propuesto en la figura 7. Ver resultados en tabla 1.

### Respuesta en frecuencia

Para la respuesta en frecuencia del canal eléctrico se ha utilizado como inyector PLC un

generador de ruido, en la banda de frecuencia PLC con potencia constante, en este caso se ajusta a 0 dBm, con impedancia  $Z_g = 50$  ohms, acoplándose dicha señal en un extremo de los conductores de energía por medio de dos acopladores inductivos (modo común), cuya respuesta en frecuencia según la hoja del fabricante es linealmente “plana” entre 2 y 35 MHz, con impedancias respectivas de 50 Ohms y pérdidas por inserción menores a -3 dB (ver la figura 6) observándose con un analizador de espectro en el otro extremo ( Propower – 5 de PROMAX ), mediante acoplamiento inductivo similar al antes mencionado en modo común.

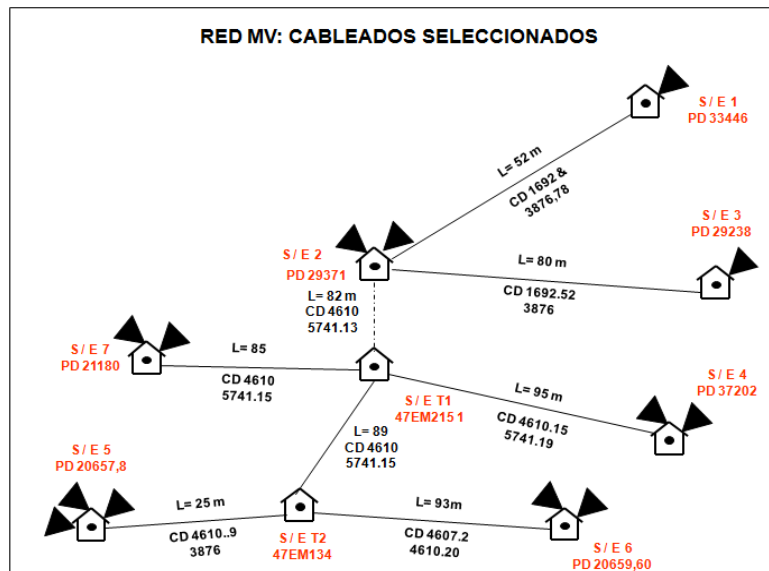


Fig.5

### Relacion señal a ruido (snr) respuesta en frecuencia del canal (cfr) y bit por portadora ( bpc )

Una vez verificada la factibilidad de uso de los cableados MV seleccionados como medio de transmisión se efectúan las pruebas y mediciones en la red conformada con los equipos de la red PLC ( aplicación: Schneider

Electric SNR Viewer del sistema de PLC ). Ver ejemplos de muestras tomadas entre el HE y el TDR 2 y viceversa en las figuras 8 y 9 CFR ( Channel Frequency Response ), BPC ( Bit per Carrier ) y SNR ( Signal to noise Ratio ). Se hace notar que es necesario considerar los errores introducidos en la medición por pérdidas de inserción del acoplamiento a los efectos de obtener una mayor precisión. [11].



CABLE - TRAMO	Tabla 1. FRECUENCIA EN MHz							RUIDO MEDIDO EN dB
	2	5	10	20	30	40	50	
CD 1692	< -70	-68	-65	-69	< -70	< -70	< -70	
CD3876	< -70	< -70	-67	< -70	< -70	< -70	< -70	
CD 3878	< -70	< -70	-65	-68	< -70	< -70	< -70	
CD 169252	< -70	< -70	-68	-64	< -70	< -70	< -70	
CD 3876	< -70	< -70	-67	< -70	< -70	< -70	< -70	
CD 4610.1	< -70	-65	-63	-68	< -70	< -70	< -70	
CD 5741.13	< -70	-69	-65	-68	< -70	< -70	< -70	
CD 4610.2	< -70	< -70	-64	-69	< -70	< -70	< -70	
CD 5741.15	< -70	< -70	-68	< -70	< -70	< -70	< -70	
CD 4610.3	< -70	< -70	< -70	< -70	< -70	< -70	< -70	
CD 4610.9	< -70	-67	-64	-68	< -70	< -70	< -70	
CD 3876	< -70	-69	-65	< -70	< -70	< -70	< -70	
CD 4607.2	< -70	< -70	-63	-67	< -70	< -70	< -70	
CD 4610.20	< -70	< -70	< -70	< -70	< -70	< -70	< -70	

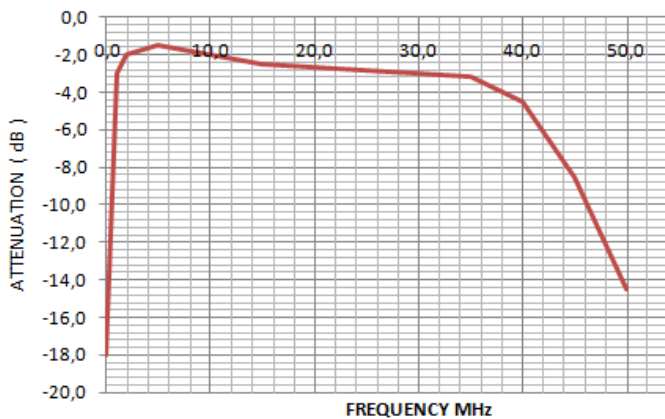


Fig. 6. Respuesta en frecuencia de Ferritas MV ICU [10]

De primordial importancia en la caracterización cualitativa del canal PLC es el conocimiento del factor de relación señal a ruido C/N ó SNR (signal noise ratio ), por lo que dicha evaluación se efectúa conjuntamente con la medición de respuesta en frecuencia antes descrita. En las gráficas de las figura 8 y 9 se pueden observar las interferencias del canal a partir de 18 MHz y de allí hasta 50 MHz por efecto de la respuesta en frecuencia del canal, recuérdese que los circuitos MV se comportan como filtros pasabajo, lo que permite la transmisión de portadoras en esa banda.

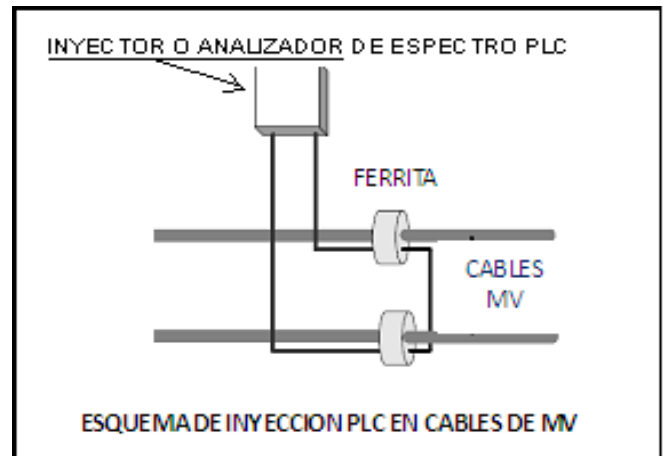
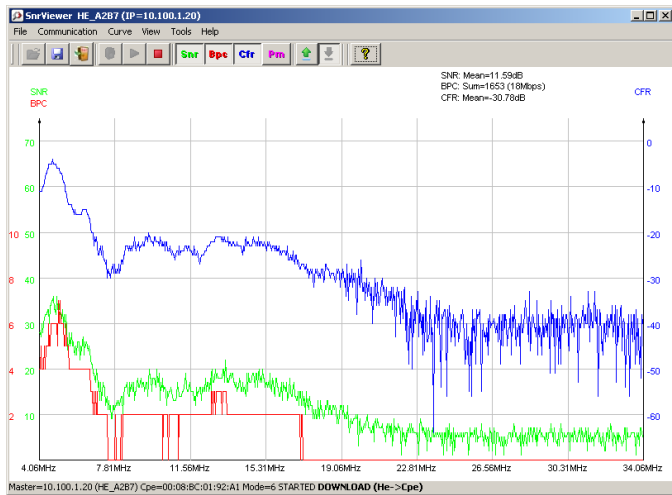


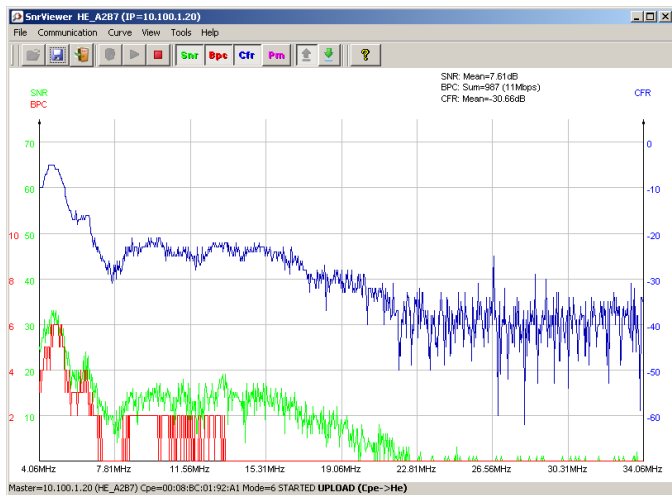
Fig. 7.

Nótese así mismo que este fenómeno ocurre en ambos sentidos en transmisión y en recepción.

Esto tiene como consecuencia disminuir el número de portadoras disponibles para la transmisión, sin embargo para las aplicaciones de telemetría, requiriendo modestos anchos de banda, cubren satisfactoriamente capacidades por encima de 1 Mbps, en este caso 18/11 Mbps en la primera mitad del espectro, hasta unos 17 MHz.



**Fig. 8. Espectrometría SNR, BPC y CFR en 47EM215 desde HE hasta TDR2. Tramos CD´s 1692, 4610.1 y 4610.2**



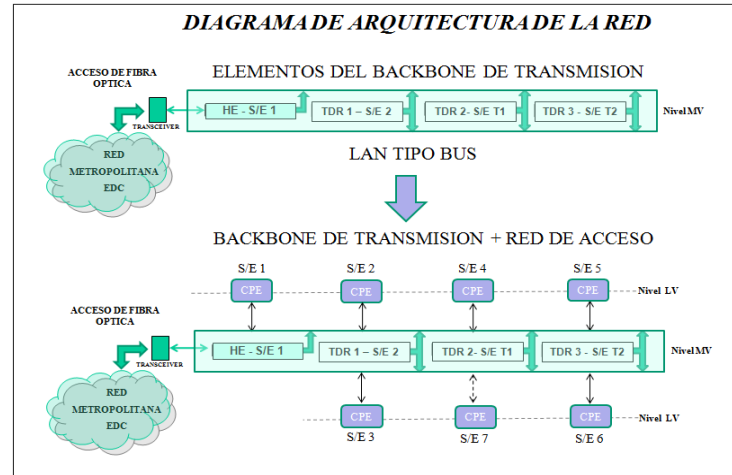
**Fig. 9. Espectrometría SNR, BPC y CFR en 47EM215 desde TDR 2 hasta HE. Tramos CD´s, 4610.2 y 4610.1, 1692.**

**Red PLC en CCT**

Con la finalidad de llevar los datos hasta las premisas del cliente en CCCT es necesario interconectar: un sistema de Control Maestro (PLC Network Operations Center), una red de Transporte de datos en fibra óptica: EDC Network (Red Metro Ethernet) y la red PLC local en CCCT.

**Arquitectura del backbone de transmisión**

La arquitectura del sistema de red está basado en una red jerárquicamente organizada. Podemos distinguir en la figura 10 los elementos del backbone de transmisión PLC, esto en si es una estructura de red tipo Bus, el cual circula a lo largo de los cableados MV acoplados con la señal PLC y que unen las S/E´s 1, 2, T1 y T2, en donde se encuentran los equipos TDR repetidores ILV 2110.



**Fig. 10.**

**Primer nivel: Gateway Optico ( vía de entrada )**

Proveniente de un switch de la Red Metro Ethernet de fibra óptica y por medio de un enlace óptico, un Transceiver ( transductor óptico – eléctrico ) Omnistron conecta a través de un puerto Ethernet 10/100 ( conectorización RJ45 ) con la entrada del equipo de cabecera Head End ( HE ) ó Master de la Red PLC, implementado con un equipo ILV 2120, siendo el switch PLC principal o de mayor jerarquía, permitiendo inyectar las señales al medio eléctrico (cableados en mediana tensión ) por medio del acoplamiento inductivo. Físicamente se encuentra dicho equipo en la S/E 1 y se está aprovechando el hecho de que fibra óptica conectorizada de la red de transporte de la red metropolitana se encontraba en dicha ubicación antes del inicio del proyecto.

**Segundo nivel: equipos del backbone**

Los equipos repetidores TDR1\_S/E2, TDR2\_S/E T1; TDR3\_S/E T2, cuyas ubicaciones se indican en la nomenclatura de la denominación, son los equipos como su nombre lo indican encargados de repetir ó retransmitir el mensaje enviado por el HE. Su implementación obedece al compromiso de mantener un margen seguro de potencia de la señal PLC en el medio eléctrico, entre dos Repetidores con los niveles requeridos para la sensibilidad de dichos equipos y que permiten superar los obstáculos que plantea el canal eléctrico en MV como son ruido y atenuación. Estos equipos repetidores actúan en configuración Master – Slaves en relación con el HE. En este caso se utilizan equipos, configurados para el empleo del Modo 6 ó sea una banda de frecuencia que va desde 4 hasta 34 MHz (véase figura 11). A fin de evitar colisiones en la transmisión de las señales utilizando dicho modo, las comunicaciones entre

pares de equipos se hace en períodos de tiempo diferentes, de allí la denominación TDR (Time Domain Repeater) Repetidor en el Dominio del Tiempo. Ver figura 10.

### Tercer nivel: acceso a usuario

En este nivel de la arquitectura de la red PLC se encuentran los nodos de acceso implementados con módems o CPE's estos son los dispositivos que hacen las interfaces con los equipos del usuario, en este caso representados por los medidores de energía dispuestos a la entrada de los alimentadores en MV, de los transformadores de potencia. Esto se lleva a cabo mediante un puerto Ethernet 802.3 ( 10/100Mb/s ), RJ45, pudiendo alcanzar velocidades de transmisión de hasta 200 Mbps en full dúplex.

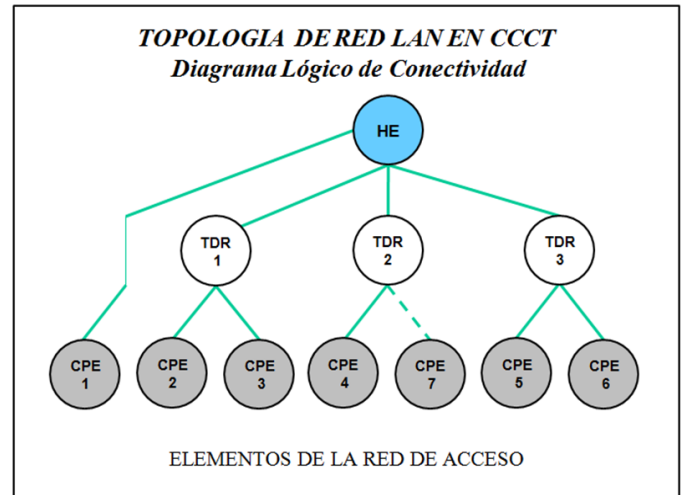


Fig. 12.

### Tópicos de seguridad de datos en la red PLC

Hemos creído interesante destacar la importancia del manejo seguro de la información transportada en la red PLC. Existen cinco mecanismos de seguridad que hacen posible que dicha información viaje mucho más segura que a través de los medios de comunicación clásicos incluyendo telefonía celular. Estos mecanismos son:

- **Autenticación y autorización de usuario**  
La topología de la red se encuentra basado en una estructura jerárquica Master – Slave, cualquier nodo “slave” que desee conectarse a la red y tener acceso debe ser reconocido y autorizado por el sistema de Control Maestro. Este proceso de autorización se hace mediante comunicación encriptada y por lo tanto se considera segura. Cualquier CPE, ó TDR inclusive que no haya sido autorizado en el sistema de Control Maestro no podrá disponer de los recursos de red necesarios y todas las transmisiones ( requisiciones ) que haga no se tomaran en cuenta.
- **Metodo de encriptación**  
La tecnología PLC utilizada emplea dos métodos de encriptación: 3DES para información de largo plazo de vida y para informaciones de corto plazo de vida ( burst sencillo ) se emplea el método de encriptación DES.
- **Modulación específica por usuario y variable en tiempo real**  
Cualquier mensaje que se transmita en la red PLC es modulado según las características de la relación señal a ruido SNR medido en cada nodo, este valor cambia en tiempo real cada vez que cambian las características del medio. A fin de demodular un mensaje direccionado a un usuario, la modulación usada debe conocerse con exactitud y además la información de la

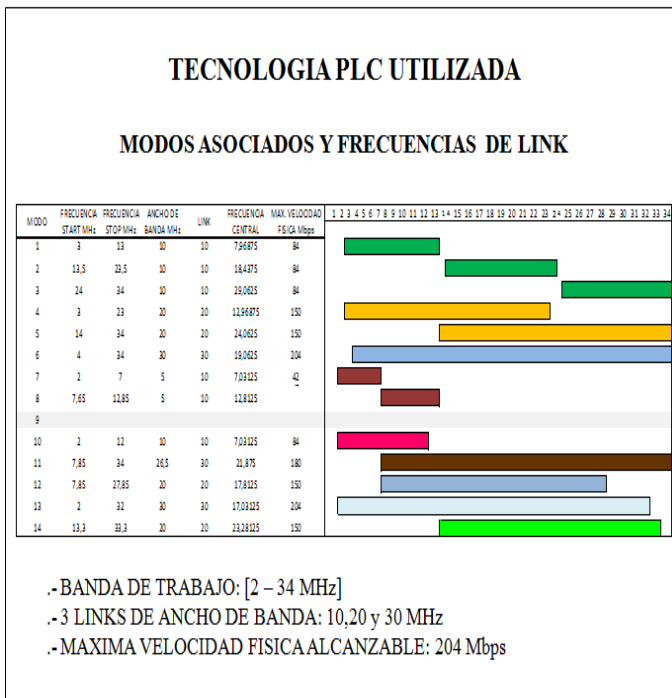


Fig. 11.

En el presente trabajo se alcanzan menores velocidades al máximo teórico por las características del medio eléctrico encontrado en los cableados MV del CCCT, según las mediciones efectuadas y presentadas más adelante. Los equipos módems se han dispuesto bajo la configuración Master – Slave con los equipos TDR bajo una topología tipo estrella, la cual se representa en el diagrama lógico de conectividad, observada en las figuras 10 y 12.



modulación empleada es encriptada haciendo del descifrado una tarea arduamente complicada.

### Tecnología PLC y 802.1Q VLAN

La tecnología PLC también soporta 802.1 Q VLAN, lo que permite aislar efectivamente grupos de usuarios, unos de otros, lo que es efectuado por el Gateway, que a su vez es controlado completamente por el Control Maestro. Significando esto que la administración de los parámetros de configuración de la VLAN son de acceso restringido desde el Sistema de Control Maestro, esto se traduce que usuarios de VLANS diferentes solo podrán comunicarse mediante mecanismos de administración de acceso.

### Administración de los dispositivos de la red LAN PLC

Para el aprovisionamiento y administración de los equipos PLC ( HE, TDR y CPE ) se utiliza el software de gestión IMS ( Itevo Management System ) el que permite el acceso y carga de la configuración de los diversos parámetros necesarios para la puesta en servicio de los equipos conformando la red PLC. EL sistema IMS lo conforman los módulos:

1. **“PlcBuilder”** : Aplicación que permite el aprovisionamiento y construcción de la red PLC y la configuración de componentes.
2. **“PlcMonitor”**:Esta es la interfaz de usuario para el Operador de la red, desplegando la topología de la red, las ventanas de alarmas y de eventos, en donde se encuentra la aplicación.
3. **SNR Viewer”**: Aplicación de despliegue en pantalla de los siguientes estados y/o características de la Red PLC: Gráfico de la relación señal a ruido medido en la línea eléctrica; Gráfico de la velocidad de Transmisión y recepción de los equipos en el canal PLC y Gráfico de la relación de “bit por portadora” en los circuitos de la red.
4. **Plc Comm”**: Es la aplicación encargada del monitoreo y presentación de estatus, indicadores de rendimiento, alarmas y eventos , información que se guarda en base de datos.

El proceso de despliegue requiere de dos servidores:

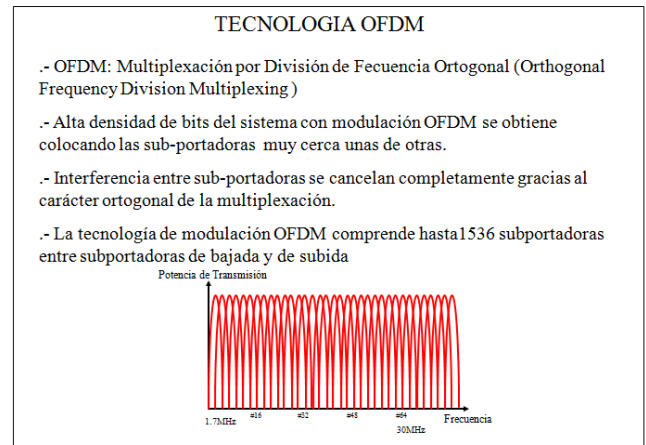
5. **DHCP**: Aplicación que provee las direcciones IP + el URL de los archivos de configuración.
6. **TFTP**: Es el módulo que provee las configuraciones de los distintos archivos.

Entre las variables de configuración para el aprovisionamiento de los equipos HE, TDR’s y

CPE’s:en CCCT podemos mencionar las siguientes: Habilitación de HE,TDR y CPE, según corresponda; Mac Address, dirección IP y Modo de Trabajo.

### Modulación OFDM

La tecnología PLC empleada usa la modulación OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), la cual viene utilizándose en otros sistemas de comunicación como ADSL, VDSL, DAB, y DVB, por nombrar unas pocas. El uso de esta modulación permite obtener altas velocidades de canal al ser más inmune a las interferencias de dicho canal y proveyendo el mas alto nivel de eficiencia espectral (bits por portadora). Específicamente OFDM es una tecnología muy robusta contra los desvanecimientos y tiempos de respuesta gracias al empleo de multi-portadoras para la transmisión. En sí es una tecnología que permite modular y multiplexar al mismo tiempo. Usa 1536 sub-portadoras, ofreciendo la flexibilidad en que si en un canal de transporte ( portadora ) hay mucha interferencia entonces dicho canal puede omitirse, mientras la transmisión con las restantes portadoras continua, evitándose de esta forma la interferencia y asegurando que la comunicación sea segura. Obsérvese que OFDM usa sub-portadoras solapadas a 90°. La ortogonalidad permite que cada sub-portadora sea independiente de la contribución en la integración de la comunicación de la data dentro de la banda de trabajo. Ver figura 13.



**Fig.13**

### Direccionamiento MAC

La tecnología PLC utiliza la dirección MAC (Medium Access Control Address o Dirección de Control de Acceso al Medio). En el HE se halla configurada y grabada una tabla de direcciones MAC que permite al HE enviar la información PLC o Ethernet al puerto correcto. Es un

identificador de 48 bits (6 bytes) que corresponde de forma única a un equipo de la red. Esta dirección es individual, cada dispositivo tiene su propia dirección MAC determinada y configurada por el IEEE (los últimos 24 bits) y el fabricante (los primeros 24 bits). La mayoría de los protocolos que trabajan en la capa 2 del modelo de OSI usan una de las direcciones MAC, que son únicas a nivel mundial, puesto que son escritas directamente, en forma binaria, en el hardware en su momento de fabricación. Debido a esto, las direcciones MAC son a veces llamadas "Direcciones Quemadas"

(BIA, por las siglas de Burned-in Address). Dicho medio de seguridad se puede considerar como un refuerzo de otros sistemas de seguridad, ya que teóricamente se trata de una dirección única y permanente, aunque en todos los sistemas operativos hay métodos que permiten a las tarjetas de red identificarse con direcciones MAC distintas de la real.

## RESULTADOS

### Red LAN PLC propuesta

La configuración de la red LAN propuesta (véase figura 14) corresponde a una estructura jerárquica donde el equipo que recibe la señal proveniente de la red metropolitana de datos de fibra óptica es el equipo de cabecera Master ó Head End ( HE ) ILV 2120 ó FDR ( frequency domain repeater ), de Electric Schneider, en sí es a la vez el equipo Switch – PLC y repetidor en el dominio de la frecuencia basado en el chipset de DS2: 9002, de segunda generación ( Wisconsin ) [12].

De igual forma se encuentran conformando la estructura central de la red los elementos esclavos ( slaves ): los equipos repetidores ILV 2110 denominados TDR 1, TDR 2 y TDR 3, repetidores trabajando en el dominio del tiempo, estos últimos equipos se encuentran en las Subestaciones de transferencia, esto en parte, debido a la distancia entre dichas Subestaciones y las atenuaciones observadas de la señal PLC.

Finalmente los equipos CPE ó Módems siendo los puertos de acceso a los equipos de medición y la red PLC, con puerto Ethernet 10/100 Mbps y chip DS2 Wisconsin 9001 [12].

Entre las características resaltantes de esta familia de equipos se encuentran: Modulación OFDM con 1536 portadoras; protocolo MAC proveyendo el mecanismo maestro-esclavo para el acceso de los datos. Incluyen además: Protocolos: Spanning Tree IEEE 802.1D, VLAN: IEEE 802.1Q, Traffic Prioritization: IEEE 802.1p.

### Condiciones ambientales: red LAN PLC física

Es importante destacar que las condiciones ambientales en S/E 7, por efecto de temperatura ambiental por encima de 40°C hace inviable la implantación de la tecnología PLC por el riesgo a fallas en los equipos electrónicos de red, por lo que se sugiere se utilicen otros medios de telecomunicación más idóneos para dichas condiciones para la tele-medición, por ejemplo el empleo de enlaces inalámbricos.

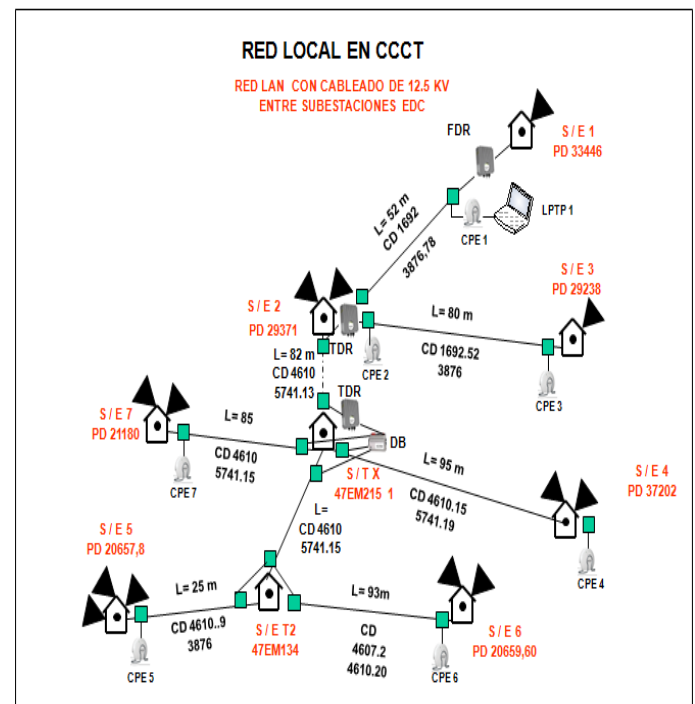


Fig. 14.

### Pruebas de red Lan

Mediante el comando PING utilizado en forma rutinaria para medir la calidad en los tiempos de respuesta de los dispositivos en los canales establecidos en redes de datos y pérdida de la información "empaquetada".

La tabla 2 nos permite visualizar la valoración de tiempos de respuesta, además de los paquetes (tramas de prueba) perdidos entre un Laptop simulando la estación maestra y los equipos de la red de datos.

**Velocidad del canal PLC**

En la tabla 3 se dispone de una tabla mostrando valores de velocidad de comunicación entre los dispositivos PLC. Nótese que en la estructura real y por razones de potencia disponible en el canal, el TDR 3 puede alcanzar el HE por intermedio del TDR2.

**TABLA 2. RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE COMANDO PING**

PARAMETRO	S/E1		S/E2		S/E3	S/ET1	S/E4	S/ET2	S/E5	S/E6
	HEAD END	CPE 1	TDR 1	CPE 2	CPE 3	TDR 2	CPE 4	TDR 3	CPE 5	CPE 6
IP ADDRESS	10.100.1.20	10.100.1.40	10.100.1.21	10.100.1.22	10.100.1.23	10.100.1.24	10.100.1.25	10.100.1.44	10.100.1.26	10.100.1.27
LOST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LOSS RATE	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
MIN. TIME	2 ms	6 ms	5 ms	11 ms	11 ms	9 ms	16 ms	15 ms	17 ms	19 ms
MAX. TIME	4 ms	13 ms	11 ms	31 ms	28 ms	18 ms	24 ms	23 ms	24 ms	24 ms
AVG. TIME	3 ms	10 ms	8 ms	48 ms	18 ms	13 ms	21 ms	18 ms	22 ms	22 ms
AVG TTL										
HEAD END: EQUIPO DE CABECERA TDR 1: REPETIDOR 1 EN EL DOMINIO DEL TIEMPO CPE 1: EQUIPO 1 EN LAS PREMISAS DEL CLIENTE O MODEM S/ET: SUBESTACION DE TRANSFERENCIA O INTERCONEXION.										

**TABLA 3. VELOCIDADES OBTENIDAS ENTRE LOS EQUIPOS (Mbps)**

	HEAD END	CPE 1	TDR 1	CPE 2	CPE 3	TDR 2	CPE 4	TDR 3	CPE 5	CPE 6
HEAD END		132;132	34;55			18;13				
CPE 1	103;107									
TDR 1	53;36			154;122	11;18					
CPE 2			130;156							
CPE 3			5;11							
TDR 2	12;19						37;44	14;14		
CPE 4						44;37				
TDR 3						14;14			5;9	8;4
CPE 5								10;4		
CPE 6								5;7		
Mbps: Mega bits por segundo				TX;RX VELOCIDADES DE TRANSMISION Y RECEPCION						

## CONCLUSIONES

Según la información presentada en este documento conforme a los estándares usuales de telecomunicaciones y según la valoración de dichos parámetros los cuales permiten validar el estudio de factibilidad técnica de canal eléctrico en CCCT, para la implantación de la red LAN PLC, permitiendo así dar cumplimiento con los

requisitos necesarios para el transporte de data de tele-medición hasta los centros de procesamiento de la información de nuestro cliente interno. De otra parte se ha ofrecido una metodología de trabajo de campo la cual se expone como práctica adecuada para la validación de canales eléctricos destinados para la implantación de enlaces de telecomunicaciones mediante tecnología PLC.

## REFERENCIAS

- [1] FLORIO, A. A. F. M. "La Electricidad de Caracas. 2006". *IEEE\_TD\_ BPL O&M Applications in C.A*
- [2] Autor principal.
- [3] *Catálogo materiales eléctricos MARESA* [Consultado el: [www.maresa.com](http://www.maresa.com)].
- [4] OPERA: D45 Specification of PLC System Requirements.
- [5] Autor principal.
- [6] F. ISSA, E. A. Power line communication using medium voltage networks. En: *Proc. GCC International Gulf Conference*. Manama, Bahrain. 2003.
- [7] "Channel modeling and modem design for broadband power line Communications". April, Spain, 2004
- [8] *Metrics: CAIDA- (Cooperative Association for Internet Data Analysis)* [Consultado el: [www.caida.org/outreach/metricswg/](http://www.caida.org/outreach/metricswg/)]

[9] MANFRED Z. AND KLAUS, D. "Analysis and Modeling of Impulsive Noise in Broad-band Powerline.Communications".*IEEEtrans.Electromagnetic compatibility*. Feb. 2002., Vol. 44, nº. p. pp. 249-258.

[10] Documento: PLC Link, Mitsubishi.

[11] Escogencia de acopladores inductivos: Walter Hagmann, *Installation and Net Conditioning Manual for Powerline Infrastructure Units*, Ascom Powerline, pp. 8-13, 2000.

[12] Schneider Electric Powerline Communications: ILV2110/2120 Data Sheet ENG PM1031/1 D, y ILV201 Data Sheet ENG PM1039/1 C.

## AUTORES

### **Fernando, Murillo**

Graduado en la Universidad de Rennes, Francia, alcanzando licenciatura en Ciencias (EEA) en Electrotécnica, Electrónica y Automatización. Categoría Docente Profesor Titular, en la carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Bolivariana .

e-mail: [fernando.murillo@laedc.com.ve](mailto:fernando.murillo@laedc.com.ve)

### **Osmel, Fonseca**

Ingeniero de Sistemas en la Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre, ingresando en el mismo año a la Electricidad de Caracas (EDC) como operador del COR (Centro de Operaciones de La Red), En la actualidad desempeña actividades en el proyecto SmartGrid.