

tiempo), tanto en el modelo como en las medidas realizadas. La presencia de ciertos electrodomésticos que no presentan una impedancia constante [6], sino variante en función de la fase de la señal de red (230 V, 50 Hz) hace más oportuno considerar el canal LPTV (lineal y periódicamente variante) estudiada con detalle en [7].

B. Ruido

El ruido del canal puede ser considerado como una composición de distintos tipos. En [8] se ofrece una detallada clasificación de estos ruidos, atendiendo a sus formas de onda, características espectrales, ciclos de repetición, etc.

Sin embargo, todos estos ruidos pueden agruparse en dos, en función de si se encuentran presentes en todos los ciclos:

- **Ruido síncrono con la red:** Suma de ruidos estacionarios y cicloestacionarios, cuyos parámetros estadísticos están sincronizados con la fase de la señal de red.
- **Ruido Impulsivo:** Ruidos esporádicos que aparecen en la red, y que no responden a un comportamiento periódico. Estos ruidos pueden tener sus orígenes en emisiones de RF captadas por los cables, o en conmutaciones de estado de las cargas conectadas a la red.

El resultado de esta composición es la presencia de un ruido con parámetros estadísticos periódicos respecto al período de red (20 ms) en el que esporádicamente aparecen ruidos impulsivos.

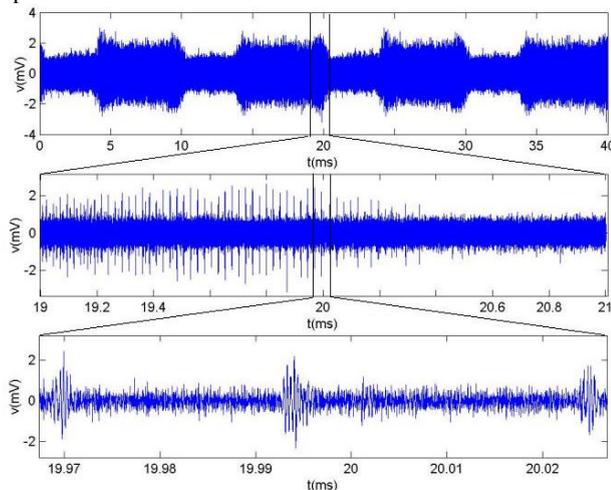


Fig. 2. (a) Ruido presente en un canal PLC durante dos períodos de red; (b) detalle de su estructura de tren de impulsos; (c) detalle del pulso.

El ruido síncrono se caracteriza por estar compuesto por trenes de pulsos de radiofrecuencia con tasas de repetición entre 50 y 200 kHz [8], que aparecen en ciertos intervalos de fases de la señal de red. En la representación (a) de la Fig. 2 se visualiza la señal de ruido en un intervalo de tiempo de 40 ms (2 períodos de red), distinguiéndose claramente su comportamiento cíclico. En la siguiente subfiguras se muestran los trenes de pulsos, comentados con anterioridad, que forman los ruidos síncronos (20 ms) de mayor nivel. La forma de onda de los pulsos se asemeja a sinusoides amortiguadas, tal y como muestra la gráfica (c).

C. Variación temporal.

El canal PLC está fuertemente condicionado por las variaciones temporales que sufre. Los sistemas PLC han de poner especial énfasis en intentar salvar las dificultades que suponen los cambios de los parámetros del canal, lo que atribuye especial interés a las variaciones de éstos. Atendiendo al carácter de dichos cambios se pueden especificar dos tipos:

- **Variaciones a largo plazo:** Causadas por las conexiones y desconexiones de cargas, lo que implica variaciones en la topología de la red, produciendo modificaciones en la respuesta en frecuencia y la conexión o desconexión de fuentes de ruido.
- **Variaciones a corto plazo:** Se refiere a las variaciones cíclicas de la respuesta en frecuencia y del ruido, apuntadas por los apartados anteriores, y los ruidos impulsivos.

III. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE MEDIDA

El sistema de medida (SM) tiene como principal objetivo el estudio de las variaciones de la respuesta en frecuencia del canal y la discriminación entre el ruido síncrono y el ruido impulsivo asíncrono.

A. Arquitectura del sistema

La instrumentación que mejor se adapta a las características deseadas del SM es el conjunto formado por un generador de onda arbitraria (GOA) y una tarjeta de adquisición de datos (TAD) con altas frecuencias de muestreo y profundidad de memoria. Concretamente, se utilizaron las tarjetas integradas en PCs CompuGen 1100 (GOA) y la CompuScope 14100 (TAD). Para conectar dichos instrumentos a la red se utilizó un circuito adaptador (CA), que actúa también como filtro anti-aliasing.

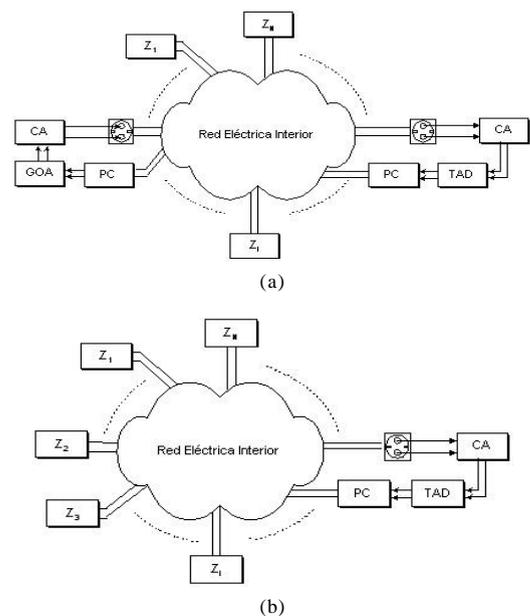


Fig. 3. Topologías del SM: (a) Medida de la Respuesta en Frecuencia; (b) Medida de Ruido.

El SM adopta dos configuraciones diferentes en función de si se pretende caracterizar el ruido o la respuesta en

frecuencia en el canal, tal y como se muestra en la Fig. 3. Las cargas son representadas mediante la anotación Z_i .

B. Subsistema de Medida de la Respuesta en Frecuencia.

En este caso, el sistema se basa en la estrategia de transmitir repetitivamente una señal conocida, que es insertada en el punto de transmisión del canal, y recuperada en el extremo final. El SM controla la adquisición de grupos de capturas para el cálculo promediado de la respuesta en frecuencia. Este proceso permite muestrear periódicamente la respuesta en frecuencia del canal cada 20 minutos. El SM estudia la evolución a largo plazo del canal, detectando las transiciones sufridas por la respuesta en frecuencia y almacenando los parámetros más relevantes de la nueva situación.

La medida de la respuesta en frecuencia se fundamenta en la transmisión de un grupo de $N=1024$ tonos relacionados armónicamente que conforman un espectro plano [7]. La frecuencia de estos tonos viene dada por (1).

$$f_k = k \cdot \Delta f \quad (1)$$

Como resolución frecuencial se toma $\Delta f \approx 48,83$ kHz, que se correspondería a la transmisión de N sinusoides en la banda entre 0 y 50 MHz. Puesto que el ancho de banda de interés es menor (de 1MHz a 30MHz), sólo se transmiten los tonos con índices comprendidos en el rango $23 \leq k \leq 615$.

La limitación de memoria de la TAD (8Mmuestras) hace que los datos de una captura sean insuficientes para el cálculo promediado de la respuesta en frecuencia, por este motivo, se realizan grupos de 40 capturas no consecutivas de la señal recibida, utilizando una frecuencia de muestreo $f_s = 100$ MHz. Cada captura equivale aproximadamente a 80 ms, correspondiéndose con 4 ciclos de la red eléctrica (período de red 20 ms). De este modo, se puede concluir que cada grupo de capturas está compuesto por 160 ciclos de la red eléctrica muestreados a 100 Mmuestras/s.

El cálculo de la respuesta en frecuencia se basa en la computación de la FFT (Fast Fourier Transform) sobre bloques de $2N$ muestras recibidas. Para evitar el efecto de la variación cíclica de la respuesta en frecuencia (LPTV), es necesario promediar el número de respuestas en frecuencia correspondientes a un período de red $L=976$, obteniéndose el valor medio para cada ciclo.

$$\bar{H}_n(k \cdot \Delta f) = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L H_n(i, k \cdot \Delta f) \quad (2)$$

donde el índice i hace referencia a cada una de las L respuestas en frecuencia que se obtienen por ciclo, y $1 \leq i \leq 160$ (número de ciclos de un grupo de capturas).

Para comprobar si sucedió algún cambio del canal durante la adquisición del grupo de capturas se utiliza un promediador de ventana deslizante, aumentando de este modo el número de promediados.

En caso de no detectarse modificaciones dentro de un grupo, se promedian los 160 ciclos obteniendo una única medida de la respuesta en frecuencia correspondiente a ese grupo de capturas. Todo este proceso presenta una duración

aproximada de 20 minutos (78 medidas al día), lo que permite detectar variaciones a largo plazo, mediante la comparación directa de la respuesta en frecuencia de grupos consecutivos.

C. Subsistema de Medida del Ruido Impulsivo.

En este caso, la configuración de funcionamiento de la TAD es idéntica al caso anterior, es decir, realiza grupos de 40 capturas que se corresponden con 160 ciclos de la red.

El objetivo de este subsistema consiste en discernir entre el ruido síncrono y el ruido impulsivo. La dificultad de esta tarea viene determinada por las variaciones cíclicas del ruido síncrono, y su forma de onda pulsada, que puede conllevar la falsa detección de ruidos impulsivos. Además, los trenes de impulsos que componen el ruido síncrono pueden producir el enmascaramiento de ciertos ruidos impulsivos de menor nivel que se presenten en otra banda de frecuencias.

Para solventar este enmascaramiento, se divide el ancho de banda en 4 subbandas con niveles de ruido bien diferenciados (2-7, 8-13, 14-19, 20-29 MHz). El análisis sincronizado con el período de red en cada una de las bandas es un elemento esencial, puesto que los niveles de ruido variarán a lo largo del período de red (20 ms).

El sistema estudia, en cada banda, la relación entre el valor de pico y el valor RMS (factor de cresta), para un conjunto de fases equiespaciadas en el período de red. Esta operación es realizada en todos los ciclos de modo que estos niveles de cresta pueden ser comparados. En base a esto, el SM establece automáticamente unos umbrales de detección en función de los máximos factores de cresta para cada fase. De este modo, si los umbrales son superados indican la aparición de un ruido impulsivo.

IV. RESULTADOS

A continuación se muestran resultados significativos obtenidos con el SM durante una campaña de medidas llevadas a cabo en un entorno de laboratorio.

La Fig. 4 muestra la variación de la respuesta en frecuencia de un canal en la banda de 1 a 30 MHz, a lo largo de ocho horas.

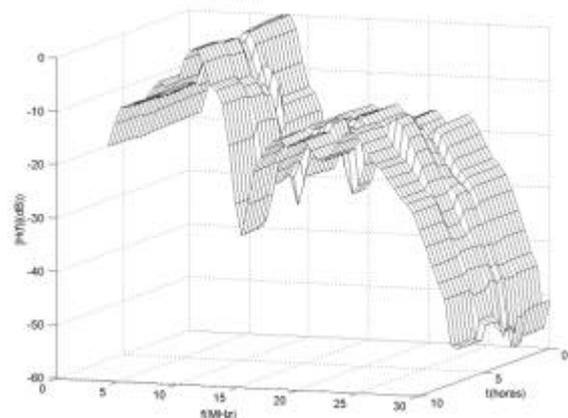


Fig. 4. Medida de la respuesta en frecuencia cíclica de un canal.

Los valores representados se encuentran normalizados respecto al valor máximo de $H(f)$. Se puede observar el claro comportamiento selectivo en frecuencia que presenta el canal,

y a la vez su comportamiento variante a largo plazo. En torno a 19 MHz puede verificarse que las variaciones sufridas por el canal alcanzan valores de 10 dB.

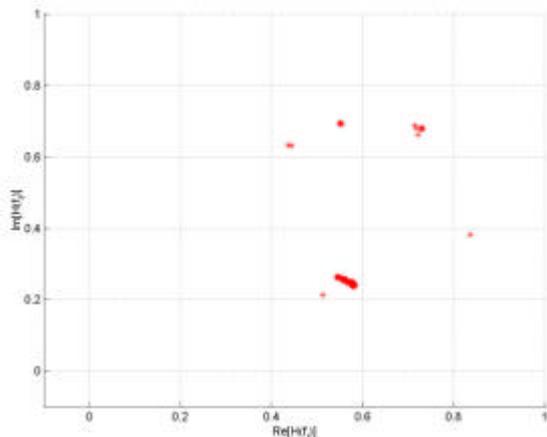


Fig. 5. Parte real e imaginaria de la respuesta en frecuencia de un canal a lo largo de un día en la frecuencia $f_{187}=6.13$ MHz.

Sin embargo, las variaciones que sufre el canal no son sólo apreciables en módulo, sino que además presentan variaciones en la fase. La Fig. 5 muestra la evolución a lo largo de un día de la respuesta en frecuencia para 6.13 MHz. Los valores han sido normalizados y se representan en el plano complejo. La respuesta en frecuencia se ve sometida a variaciones que no sólo afectan a su módulo, ya que sufre rotaciones respecto al origen.

La Fig. 6 presenta la superposición de la detección de picos en todos los ciclos de un grupo de capturas. Todos los ciclos han sido sincronizados con el ciclo de red (período 20 ms). Concretamente, se corresponde con el análisis realizado en la primera banda de estudio (2-7 MHz).

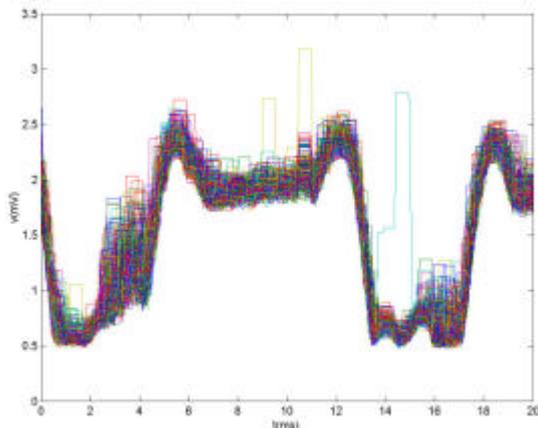


Fig. 6. Detección de picos en un grupo de capturas de ruido a lo largo del período de la red (20 ms).

Puede observarse como en el intervalo de fases 10-12 ms aparece un ciclo que presenta un valor de pico mucho mayor que el del fondo de ruido. La relación entre los factores de cresta es superior a 10 dB, lo que indica la presencia de un ruido impulsivo asíncrono. En las gráficas (a) y (b) de la Fig. 7 se puede visualizar el ruido presente en dos ciclos distintos (20 ms). Puede constatar la naturaleza síncrona del ruido de fondo en ambos casos, con la salvedad de que en (b) se distingue la aparición del ruido impulsivo asíncrono

detectado en la Fig. 6. En (c) se representa detalladamente el ruido impulsivo asíncrono presente en (b).

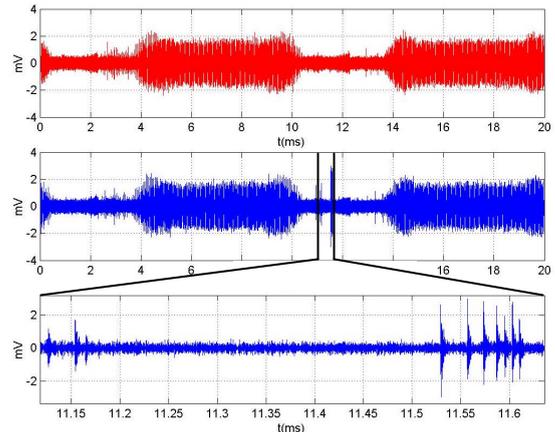


Fig. 7. (a) Medida de ruido síncrono (b) Medida con presencia de ruido impulsivo (c)Detalle del ruido impulsivo.

V. CONCLUSIONES

En este artículo se ha presentado un sistema de medida para la caracterización de canales PLC a largo plazo y la detección de ruido impulsivo asíncrono.

En la medida de la respuesta en frecuencia se plantea una estrategia que permite eludir los problemas originados por las variaciones cíclicas del canal en la detección y análisis de variaciones a largo plazo.

La estrategia planteada en la detección de ruido impulsivo, permite mediante la sincronización con el ciclo de red determinar los niveles de ruido síncrono con la red, y, en función de éste, fijar umbrales de detección que permiten discriminar el ruido impulsivo.

REFERENCIAS

- [1] ETSI TS 101 867 V1.1.1 (2000-11), "Coexistence of Access and In-House Powerline Systems".
- [2] H. Philipps, "Performance Measurements of Powerline Channels at High Frequencies", Proceedings of the 1998 International Symposium on Power-Line Communications and its Applications (ISPLCA), Tokyo, Japan, pp. 229-237.
- [3] H. Philipps, "Modelling of Power Line Communication Channels", Proceedings of the 1999 International Symposium on Power-Line Communications and its Applications (ISPLCA), Lancaster, UK, pp. 45-51.
- [4] M. Zimmermann, K. Dostert, "A Multi-path Signal Propagation Model for the Power Line Channel in the High Frequency Range", Proceedings of the 1999 International Symposium on Power-Line Communications and its Applications (ISPLCA), Lancaster, UK, pp. 45-51.
- [5] F. J. Cañete Corripio, J. A. Cortés, J. T. Entrambasaguas, "Broadband Modelling of indoor Power-Line Channels", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 48, No. 1, February 2002, pp. 175-183.
- [6] F. J. Cañete Corripio, J. A. Cortés, L. Díez, J. T. Entrambasaguas Muñoz, "Modelling and Evaluation of the Indoor Power Line Transmission Medium", Communications Magazine, April 2003.
- [7] F. J. Cañete, J. A. Cortés, L. Díez, J. T. Entrambasaguas, "On the Cyclic Nature of Indoor Power-line Channels", en proceso de revisión del IEEE Transactions on Communications.
- [8] M. Zimmermann, K. Dostert, "An Analysis of the Broadband Noise Scenario in Powerline Networks", Proceedings of the fifth International Symposium on Power-Line Communications and its Applications (ISPLC'2000), Limerick, Ireland, pp. 131-138.