

# Medida de la impedancia dinámica de entrada en el interfaz C4 de Eurobaliza

## Measurement of the dynamic input impedance at the interface C of eurobalise using phasor technique

José Bueno<sup>1</sup>, Susana Herranz<sup>1</sup>, Pedro Agudo<sup>1</sup>, Alfredo Arroyo<sup>1</sup>, Marta Esteban<sup>1</sup>, Jorge-Ignacio Iglesias<sup>1</sup> y Jaime Tamarit<sup>\*</sup>

### Palabras clave

ERTMS; eurobaliza; interfaz C4; conmutación de telegramas;

### Resumen

El interfaz C4 del subsistema Eurobaliza es un interfaz opcional. Su utilización tiene por objeto informar al LEU (Lineside Electronic Unit) de que la Eurobaliza está siendo activada por un tren. Esta situación requiere que el LEU quede deshabilitado para cambiar de telegrama por un período determinado de tiempo. El párrafo 4.2.8.5.6 del Subset-085 define el procedimiento de ensayo para verificar la funcionalidad de bloque de cambio de telegrama. En la actualidad la verificación de la impedancia del interfaz C4 se basa en el ajuste de circuitos equivalentes RL o RC. Esta verificación se base en la utilización de unos algoritmos engorrosos para la determinación de los correspondientes parámetros del circuito que mejor ajustan con los valores medidos de la tensión e intensidad a la entrada de este interfaz.

En esta comunicación se propone un nuevo procedimiento de verificación basado en el uso de fasores complejos de tensión e intensidad para la medida instantánea de la impedancia de entrada del interfaz C4. El método propuesto se ha validado comparando el nuevo procedimiento con el tradicional en medidas realizadas con dos eurobalizas comerciales de distintos fabricantes.

### Keywords

ERTMS; eurobalise interface C4; telegram switching;

### Abstract

The interface C4 of the Eurobalise subsystem is an optional interface. When it is implemented, it shall be used for transmitting the information to the LEU that the Balise is powered by a train. This then requires that the LEU shall not be allowed to switch telegram for a certain time period. The paragraph 4.2.8.5.6 of the Subset-085 defines the test procedure for the verification of the optional Blocking of Up-link Telegram Switching functionality. At present, the verification of the impedance at C4 interface is based on the adjustment of RL or RC equivalent circuits. This verification is based on a cumbersome algorithm for the determination of the corresponding circuit parameters which fit better to the measured values of Voltage and Current at the input of this interface.

In this communication we propose a new procedure based on the use of voltage and current complex phasors allowing the instantaneous determination of the input impedance at the entry of C4 interface. The method is validated comparing this procedure with the traditional method in the measurements performed in two commercial Eurobalises.

## 1. INTRODUCCIÓN: PRINCIPIOS Y PREPARACIÓN DEL ENSAYO

Cuando se alimenta una carga inductiva invariante con una fuente sinusoidal de tensión, tensión y corriente están relacionadas por medio de la ley de Ohm. El valor instantáneo de ambas magnitudes representa una forma de onda sinusoidal, estando la forma de onda de la intensidad retrasada respecto a la de tensión, tal como se muestra en la figura 1.

Las formas de onda sinusoidales se pueden representar en el plano complejo por medio de vectores rotantes, denominados fasores, que giran en el plano complejo a una velocidad angular constante (frecuencia angular,  $\omega$ ) igual a  $2\pi$  veces la frecuencia de la tensión de alimentación. El

valor instantáneo de las magnitudes viene dado por la proyección de los fasores sobre el eje real del plano complejo, tal como se muestra en la figura 2.

Una vez conocidos los fasores que representan tensión y corriente, la impedancia compleja queda determinada por su cociente complejo:

$$V^* = V e^{j(\omega t + \varphi_v)}; I^* = I e^{j(\omega t + \varphi_i)}; Z^* = \frac{V^*}{I^*} = \frac{V}{I e^{j(\varphi_v - \varphi_i)}} = Z e^{j\theta}$$

## 2. IDENTIFICACIÓN DE LOS FASORES A PARTIR DE LAS MEDIDAS DIGITALES MUESTREADAS

Para obtener el valor instantáneo de la impedancia a partir de medidas digitales a la entrada del interfaz C4, es necesario identificar las posiciones relativas de los fasores de tensión e intensidad en el plano complejo. Esto debe hacerse a partir de las señales muestreadas obtenidas a la entrada del interfaz, tal como se muestra en la figura 3.

\* Autor de contacto: [jaime.tamarit@cedex.es](mailto:jaime.tamarit@cedex.es)

<sup>1</sup> Laboratorio de Interoperabilidad Ferroviaria del CEDEX, Madrid, España.

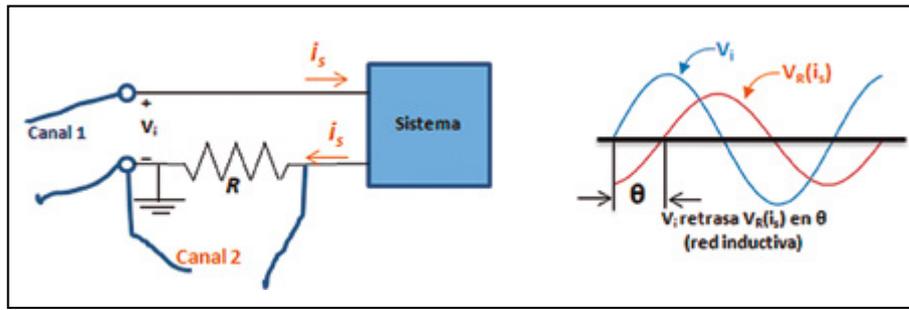


Figura 1. Formas de onda de tensión y corriente en bornes de una carga inductiva.

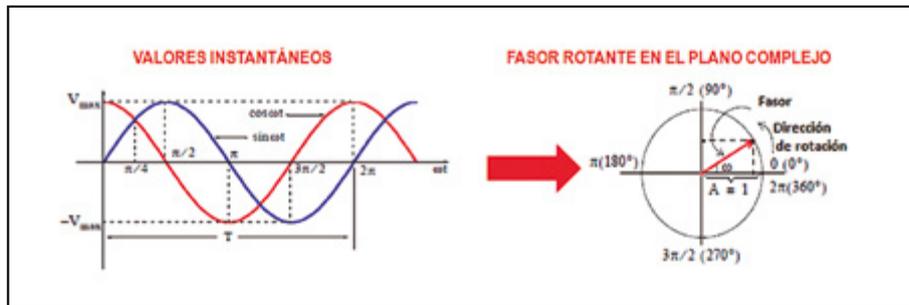


Figura 2. Magnitudes de variación sinusoidal representadas como proyección de fasores sobre el eje real del plano complejo.

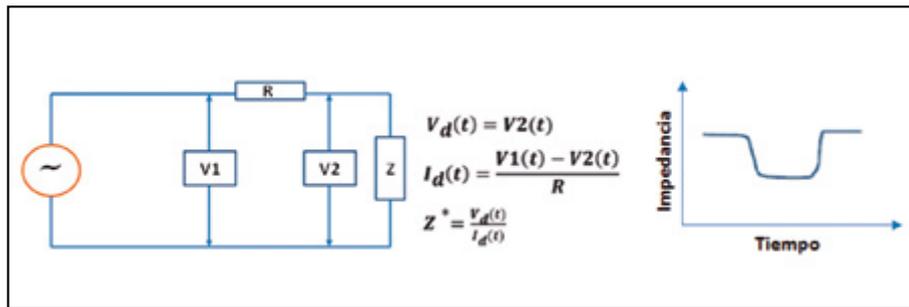


Figura 3. Medida de la impedancia a partir de los valores muestreados de tensión y corriente.

Los registros de las dos tensiones V1 & V2 se han obtenido a velocidades de muestreo de 100 Ms/seg. A la entrada del interfaz C4 de una Eurobaliza conectada a un LEU que transmite mensajes con una portadora de una frecuencia igual a 8,8 KHz. Durante la activación de la Eurobaliza. Esto supone que se toman 11.000 muestras por período de la portadora. Esto se instrumentó con un rack PXI de National Instruments que incorpora una placa convertora A/D de 14 bits y alta velocidad, modelo Ni PXi 8106.

Los valores instantáneos de tensión y corriente son las proyecciones de los fasores correspondientes sobre el eje real del plano complejo. La proyección de un fasor sobre el eje real se reconoce como su componente directa ( $V_d$ ), su proyección sobre el eje imaginario se reconoce como componente en cuadratura del fasor ( $V_q$ ):

$$V^*(t) = V e^{j(\omega t + \varphi_v)} = V_d(t) + jV_q(t) = V2(t) + jV_q(t)$$

A partir de las medidas digitales a la entrada del interfaz, conocemos el valor instantáneo del fasor de tensión, esto es su componente directa. Sabiendo que el fasor gira en el plano complejo a velocidad angular constante, es posible obtener su componente en cuadratura por medio de una simple derivada:

$$V^*(t) = V(t)e^{j(\omega t + \varphi_v)} = V_d(t) + jV_q(t) = V(t) * [\cos(\omega t + \varphi_v) + j\sin(\omega t + \varphi_v)]$$

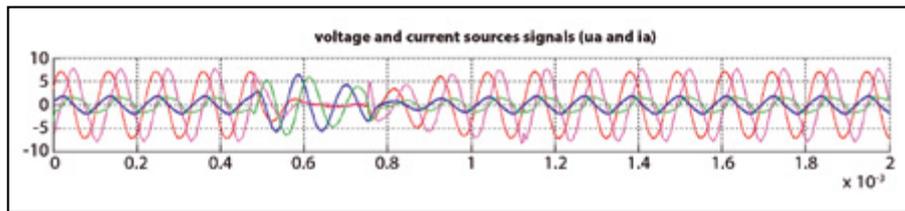
$$\begin{aligned} \frac{dV_d(t)}{dt} &= \frac{dV(t)}{dt} * [\cos(\omega t + \varphi_v)] - V(t) * \omega * \\ &* [\sin(\omega t + \varphi_v)] \approx -V(t) * \omega * [\sin(\omega t + \varphi_v)] = \\ &= -\omega V_q(t) \end{aligned}$$

$$V_q(t) = -\frac{1}{\omega} * \frac{dV_d(t)}{dt} \quad [1]$$

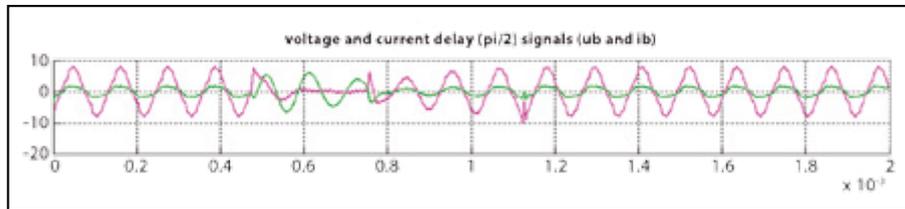
Si bien el módulo de la tensión es también función del tiempo, la aproximación utilizada en el cálculo del valor instantáneo de la derivada es una aproximación válida gracias a la elevada velocidad de muestreo que permite asumir la hipótesis de que el módulo de la tensión permanece constante entre dos muestras.

De manera similar las dos componentes del fasor de tensión pueden obtenerse como sigue:

$$I_d(t) = \frac{V1(t) - V2(t)}{R}; I_q(t) = -\frac{1}{\omega} * \frac{dI_d(t)}{dt} \quad [2]$$



**Figura 4.** Magnitudes de entrada y sus derivadas en un Sistema de referencia fijo.

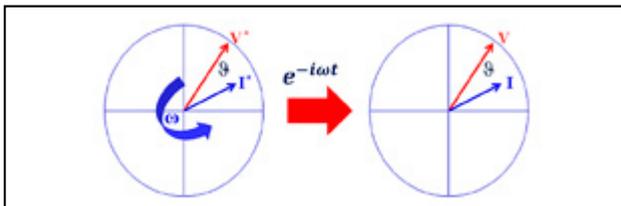


**Figura 5.** Valores instantáneos de las componentes en cuadratura de la tensión e intensidad en un sistema de referencia fijo.

La figura 4 muestra los registros de la tensión V2 (rojo), su derivada (rosa), de la intensidad (azul) y la derivada de la intensidad (verde):

Utilizando los valores de ambas derivadas, se pueden calcular fácilmente los componentes en cuadratura de ambas magnitudes utilizando las expresiones (1) y (2), tal como se muestra en la figura 5.

Tal como se indica en la figura 6, si utilizamos un Sistema de referencia que gire en el plano complejo a la misma velocidad de los fasores ( $\omega$ ), **ambos** fasores se transformarán en vectores fijos en el plano complejo (es el mismo efecto que cuando iluminamos una máquina rotativa con una lámpara estroboscópica con una frecuencia de destello igual a la frecuencia de rotación).



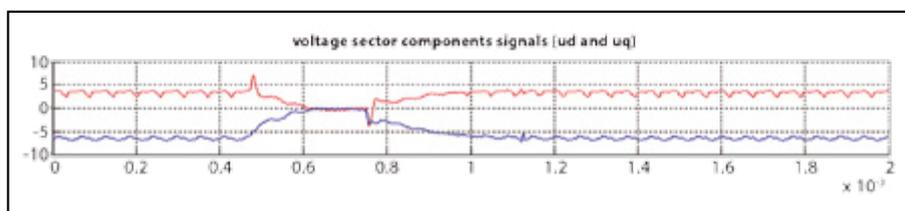
**Figura 6.** Tensión y corriente representados en un sistema de referencia giratorio.

En un Sistema de referencia giratorio las componentes directa y en cuadratura quedan fijas en el plano complejo, Esto se muestra en la gráfica de la figura 7 para los valores instantáneos de las componentes directa (rojo) y en cuadratura (azul) de la tensión. El cortocircuito a la entrada del interfaz C4 se puede apreciar claramente: ambas componentes caen prácticamente a un valor nulo.

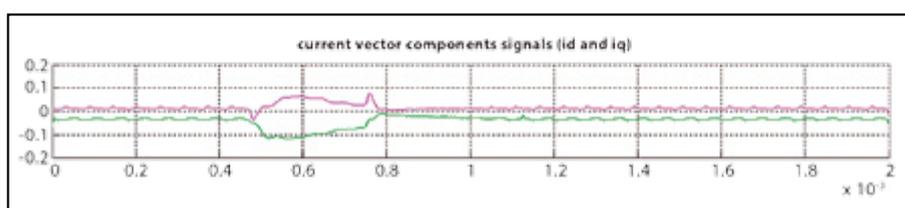
La figura 8 muestra los valores instantáneos de la componente directa (rosa) y en cuadratura (verde) de la intensidad. El cortocircuito en bornes del interfaz C4 se aprecia también claramente por el valor máximo de ambas componentes, limitado por el resistor R.

Una vez representados como vectores fijos en el espacio, la impedancia compleja a la entrada del interfaz puede determinarse fácilmente en módulo y ángulo como el cociente entre ambas magnitudes, tal como se muestra en la figura 9.

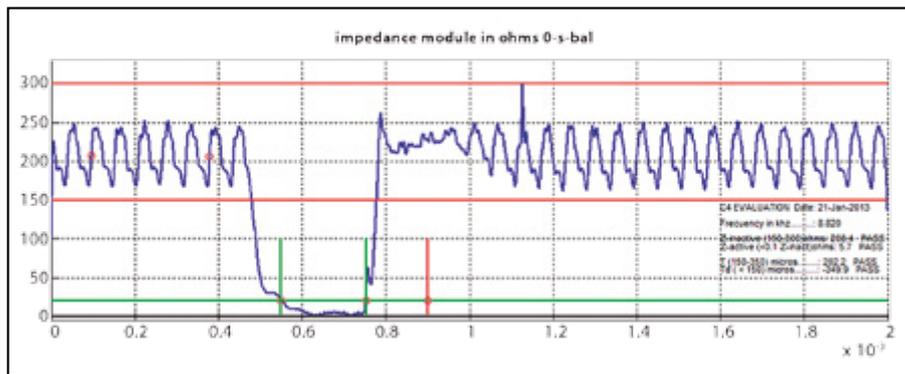
El gráfico de la figura 9, ya incorpora las marcas para la evaluación de la funcionalidad del bloqueo del interfaz de entrada C4 según la especificación del Subset-085 de la Directiva de Interoperabilidad Ferroviaria. Se aprecia que la Eurobaliza ensayada es conforme a la especificación. Tal como se muestra en la figura 10, este método facilita



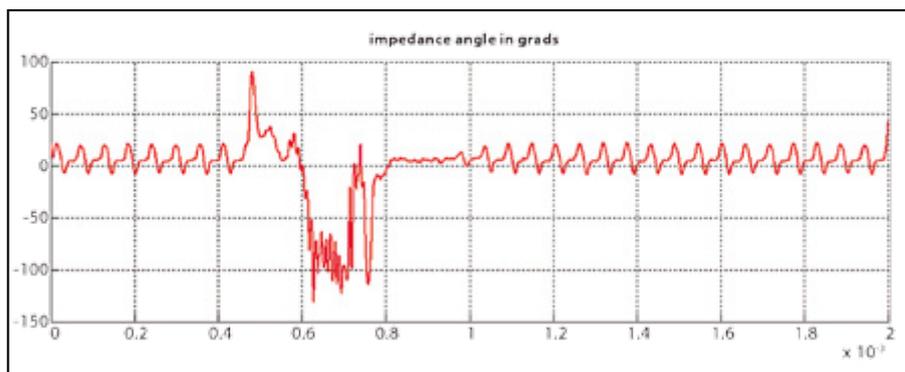
**Figura 7.** Valores instantáneos de la componente directa (rojo) y en cuadratura (azul) de la tensión en un sistema de referencia rotativo.



**Figura 8.** Valores instantáneos de la componente directa (rosa) y en cuadratura (verde) de la intensidad en un sistema de referencia rotativo.



**Figure 9.** Evolución del módulo de la impedancia de entrada del interfaz C4 durante la activación de la Eurobaliza.



**Figura 10.** Evolución del ángulo de fase de la impedancia de entrada del interfaz C4 durante la activación de la Eurobaliza.

también información precisa de la evolución del ángulo de fase del vector de impedancia.

La figura 11 muestra el método de cálculo directo y sencillo para la determinación dinámica de la impedancia de entrada del interfaz C4 en MatLab.

```

w=2*pi*f;           % rotating speed
ua=v;              % horizontal component measurement voltage
ia=i;              % horizontal component measurement current
ub=-gradient(ua,deltat)/w; % vertical component of voltage
ib=-gradient(ia,deltat)/w; % vertical component of current
uc=complex(ua,ub); % instantaneous voltage and current vectors
ic=complex(ia,ib);
kr=(1:np)*w*deltat; % the rotating angle. deltat=sampling period
u_f=uc.*exp(-kr*j); % fix vectors. voltage
i_f=ic.*exp(-kr*j); % current
z_c=u_f./i_f;      % impedance vector
z=abs(zc);         % the module
theta=180/pi*angle(zc); % the angle
    
```

**Figura 11.** Algoritmo de cálculo.

### 3. VALIDACIÓN DEL MÉTODO PROPUESTO

Con objeto de validar el método de la medida dinámica de impedancias se montó el sistema de medida que se muestra en la figura 12.

#### Pasos del ensayo:

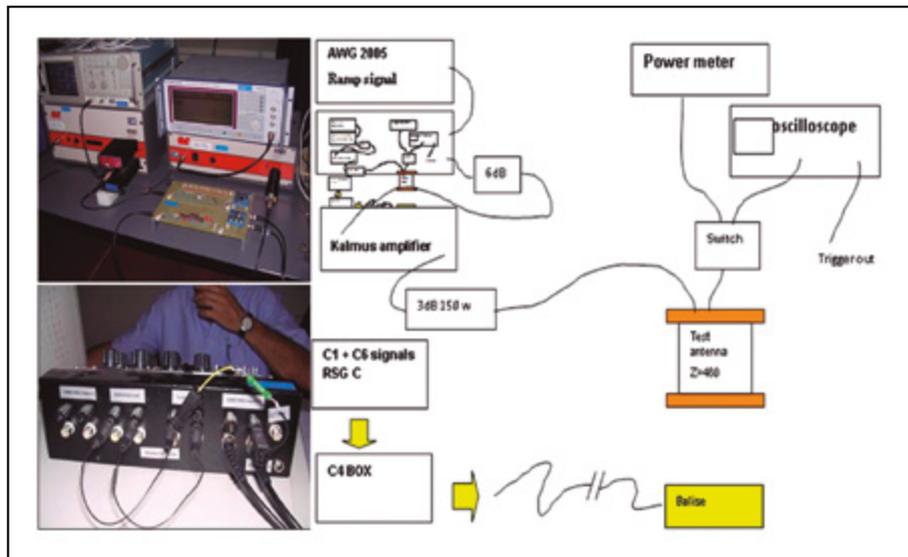
Con objeto de validar el método, el montaje anterior se utilizó con dos Eurobalizas certificadas, El ensayo se realizó en cinco pasos:

1. Ajuste de las señales C1 & C6 en los valores de referencia
  - C1 = Telegrama con todo a unos, 16vpp en 120 Ω
  - C6 = Portadora, f=8.82khz, 22vpp en 170 Ω
2. Calibración de la herramienta con una impedancia conocida. Este es un paso crucial para la identificación de los componentes de cada fasor.
3. Medida de la Impedancia del cable de la Eurobaliza a 8.82 KHz. (Aprox 10 m. de cable).
4. Posicionamiento de la antena. Ajuste de las rampas de la señal de activación y ajuste del nivel de disparo.
5. Conexión de la herramienta C4 con la Eurobaliza y realización del ensayo.

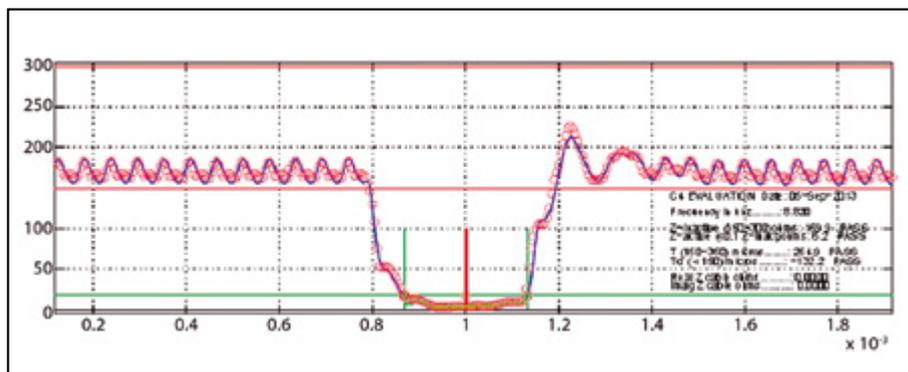
Para el nivel de disparo se utilizó la envolvente de la señal de activación de la antena (amplitud) como nivel de disparo se utilizó el umbral  $\phi_{d1}$ -10db de la especificación de Eurobaliza. El período de muestreo se fijó en 2 msec., tal como se muestra en las figuras 4 a 10 (escalas de tiempo en msec).

El ensayo se llevó a cabo con dos Eurobalizas certificadas. La funcionalidad de bloque del interfaz C4 se evaluó utilizando las recomendaciones de UNISIG y la aproximación por fasores que aquí se propone. En ambos casos las coincidencias fueron excelentes tal como se muestra en los gráficos de las figuras 13 y 14.

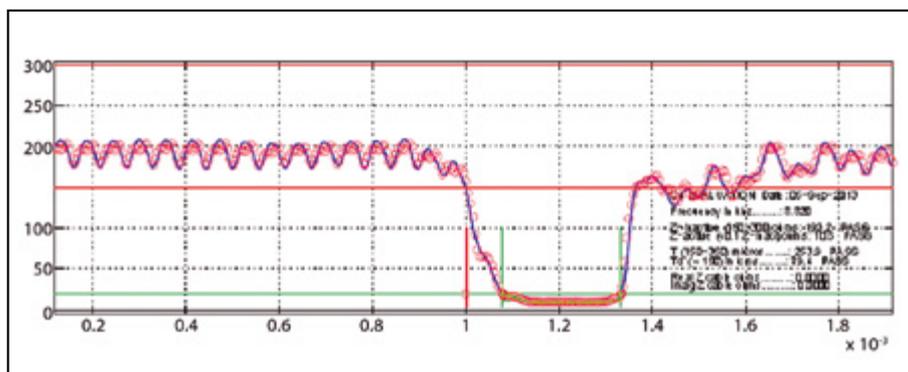
El método de los fasores proporciona además información precisa acerca del ángulo de fase de la impedancia, tal como se muestra para las Eurobalizas 1 y 2 en la figura 15.



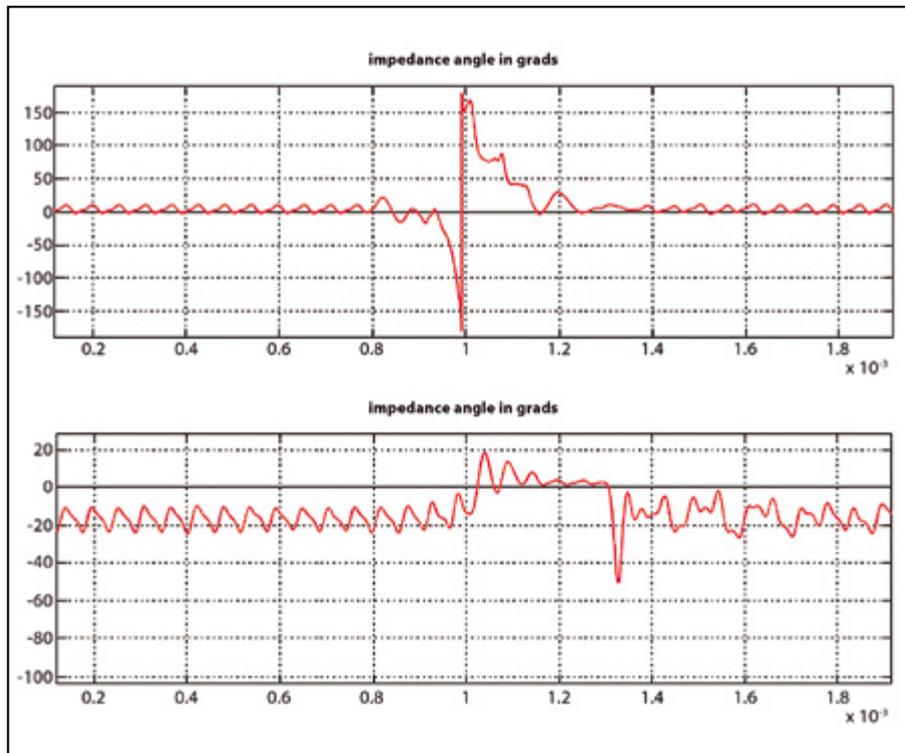
**Figura 12.** Montaje del Sistema de medida para la determinación dinámica de la impedancia de entrada en el interfaz C4.



**Figura 13.** Comparación de la medida tradicional (Circulos) y el método de los fasores (línea azul) para la Eurobaliza 1. (Test superado).



**Figura 14.** Comparación de la medida tradicional (Circulos) y el método de los fasores (línea azul) para la Eurobaliza 2. (Test superado).



**Figura 15.** Ángulo de fase de la impedancia para la Eurobaliza 1 (arriba) y para la Eurobaliza 2 (abajo).

#### 4. CONCLUSIONES

1. Se ha propuesto un método de cálculo directo y sencillo para la verificación de la funcionalidad de bloqueo del interfaz C4. Método basado en los principios físicos relacionados con la funcionalidad que se pretende validar
2. El método propuesto proporciona información adicional sobre el cambio dinámico del ángulo de fase del interfaz C. El método proporciona información precisa del cambio dinámico del módulo y la fase de la impedancia.
3. El método propuesto se ha validado mediante una comparación con el método tradicional mostrando una excelente coincidencia.

#### 5. REFERENCIAS

1. SUBSET-036: FFFIS for Eurobalise, v 2.5.7.
2. SUBSET-085: Test Specification for Eurobalise FFFIS, v 2.2.2.

3. UNISIG\_WGI\_REP\_Interface\_C4: Measurement of Interface 'C4' Impedance, v 1.1.0.
4. ITE-BAL012-(42856): Balise controlling interface performance measurements: interface c4, v 0.2
5. Bueno, J., Herranz, S., Molina, D., Agudo, P., Arroyo, A. y Alexandre, J. (2008). *La transmission par balises dans le système ERTMS – Essais de laboratorire. Revue Générale des Chemins de Fer.* N°. 169 Février 2008.
6. Arroyo, A., Agudo, P., Esteban, M., Herranz, Susana., Bueno, J. y Tamarit, J. (2012). *El Equipo Embarcado Antena-BTM del subsistema de transmisión por Eurobaliza en el sistema de señalización Europeo ERTMS.* Ensayos de Laboratorio en el CEDEX. *Revista de Ingeniería Civil.* N°165/2012 Monográfico Ferrocarriles.