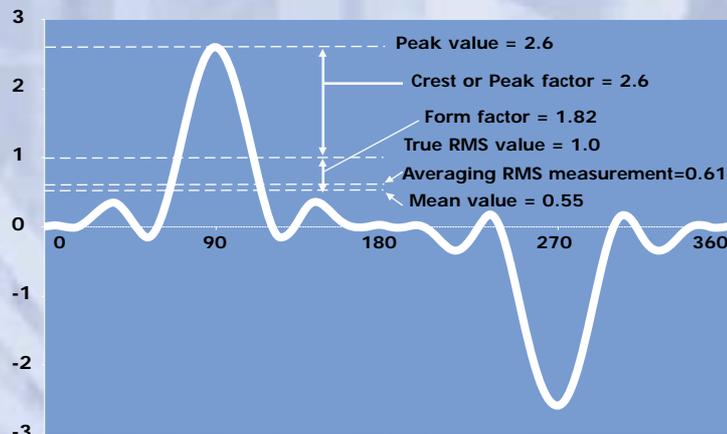


# Guía de Calidad de la Energía Eléctrica

### TRMS – Las Mediciones de Verdadero Valor Eficaz

3.2.2



# Armónicos

## TRMS - Las únicas mediciones de Verdadero Valor Eficaz

Ken West  
Fluke (UK) Ltd  
Marzo 2001

(Versión 0b Noviembre 2001)

### European Copper Institute (ECI)

El European Copper Institute (ECI) es una joint venture formada por ICA (International Copper Association) y los miembros del IWCC (International Wrought Copper Council). Por medio de sus socios, ECI actúa en nombre de los principales productores mundiales de cobre y fabricantes europeos promoviendo la utilización del cobre en Europa. Fundado en Enero de 1996, ECI está respaldado por una red de diez Centros de Promoción del Cobre en Alemania, Benelux, Escandinavia, España, Francia, Grecia, Hungría, Italia, Polonia y Reino Unido. ECI continúa los esfuerzos inicialmente emprendidos por la Copper Products Development Association, fundada en 1959, e INCRA (International Copper Research Association) fundada en 1961.

### Centro Español de Información del Cobre (CEDIC)

CEDIC es una asociación privada sin fines de lucro que integra la práctica totalidad de las empresas fundidoras-refinadoras y semitransformadoras de cobre y de sus aleaciones en España. Su objetivo es promover el uso correcto y eficaz del cobre y sus aleaciones en los distintos subsectores de aplicación, mediante la compilación, producción y difusión de información.

### Reconocimientos

Este proyecto ha sido llevado a cabo con el apoyo de la Comunidad Europea y la International Copper Association, Ltd

### Responsabilidad

El contenido de este proyecto no refleja necesariamente la posición de la Comunidad Europea, y no supone ninguna responsabilidad por parte de la Comunidad Europea.

El European Copper Institute, la Copper Development Association UK, Fluke (UK) Ltd y el Centro Español de Información del Cobre (CEDIC) rechazan toda responsabilidad por cualquier daño directo, indirecto, consecuente o incidental que pueda resultar del uso de la información, de la incapacidad para el uso de la información o de los datos contenidos en esta publicación.

Copyright© European Copper Institute, Copper Development Association UK y Fluke (UK) Ltd.

Se autoriza la reproducción siempre y cuando ésta sea íntegra y se mencione la fuente.



Princesa, 79  
28008 Madrid  
Tel.: 91 544 84 51  
Fax: 91 544 88 84



European Copper Institute  
168 Avenue de Tervueren  
B-1150 Brussels  
Belgium

Tel: 00 32 2 777 70 70  
Fax: 00 32 2 777 70 79  
Email: eci@eurocopper.org  
Website: www.eurocopper.org

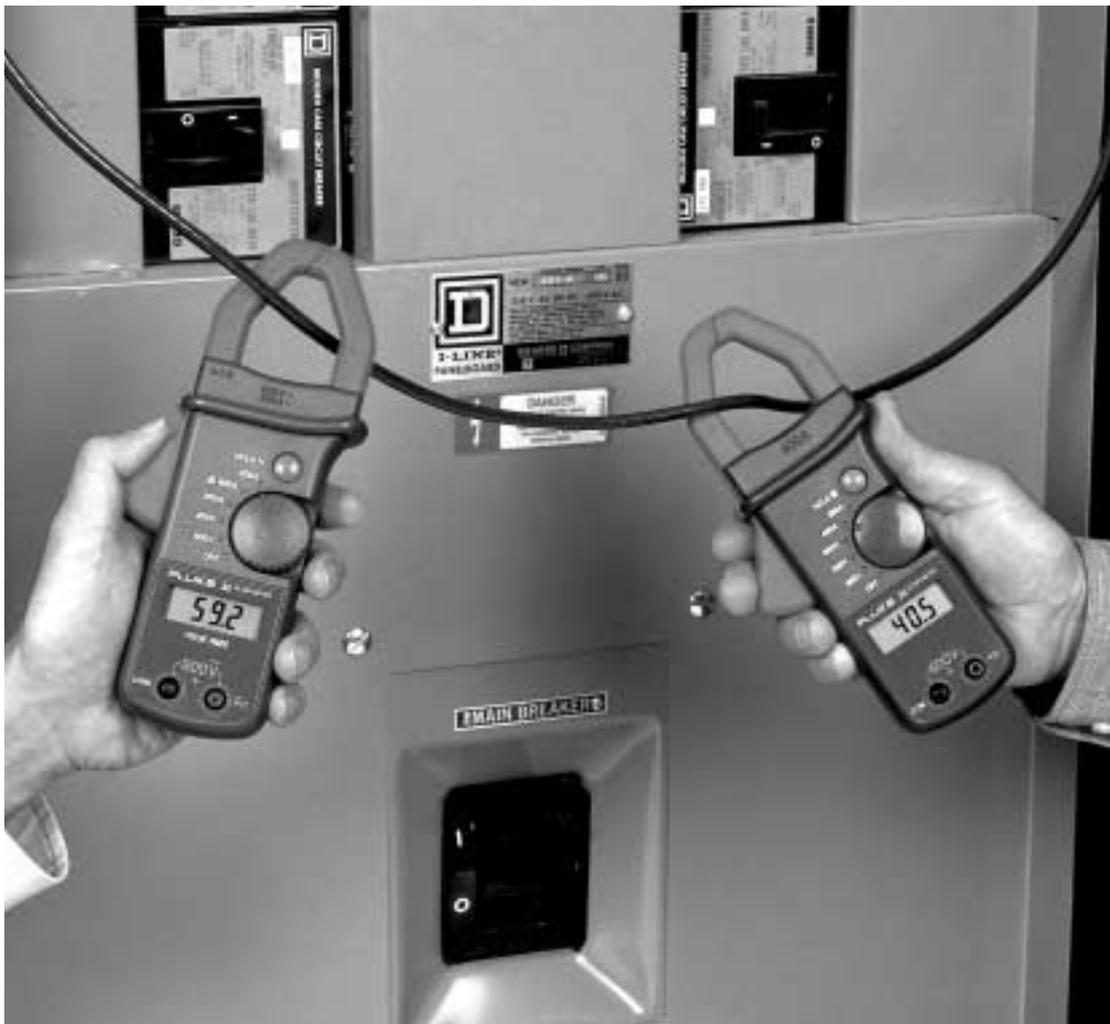
# Armónicos

## TRMS - Las Mediciones de Verdadero Valor Eficaz

Muchas instalaciones comerciales e industriales sufren de forma reiterada disparos intempestivos de los disyuntores de sus cuadros de protección contra sobrecorrientes. Con frecuencia estos disparos parecen aleatorios e inexplicables pero, por supuesto, siempre hay una razón para que se produzcan y normalmente se deben a dos causas. La primera podría ser el flujo de corriente que se produce cuando algunas cargas, especialmente ordenadores personales y otros dispositivos electrónicos, se conectan. Este tema se aborda en una sección posterior de esta Guía. La segunda causa probable es que la medida del valor de la corriente que circula por el circuito se haya infravalorado. En otras palabras, que la corriente real sea mayor de la esperada.

La medida de un valor más bajo que la realidad se produce con mucha frecuencia en las instalaciones modernas, pero ¿porqué, si los instrumentos de medida digitales son tan exactos y fiables?. La respuesta es que muchos instrumentos no son adecuados para medir corrientes distorsionadas y, en la actualidad, la mayoría de las corrientes están distorsionadas.

Esta distorsión se debe a la presencia de corrientes armónicas generadas por cargas no lineales, especialmente por equipos electrónicos tales como PCs, lámparas fluorescentes compensadas electrónicamente y reguladores de velocidad variable. La forma en que se generan los armónicos y sus efectos sobre el sistema eléctrico se comentan en la sección 3.1 de esta Guía. La figura 3 muestra la típica forma de una onda de corriente generada por un ordenador personal. Evidentemente, no se trata de una onda senoidal y todas las herramientas y técnicas de cálculo que normalmente se utilizan para medir ondas senoidales ya no sirven. Esto significa que al investigar una avería o al analizar el funcionamiento de un sistema de alimentación de energía, es fundamental utilizar las herramientas correctas para hacerlo. Herramientas que puedan medir corrientes y tensiones no senoidales.



*Figura 1 - Una corriente, dos lecturas. ¿cuál de ellas es la correcta? El ramal del circuito de la figura alimenta una carga no lineal con corriente distorsionada. El polímetro TRMS, de verdadero valor eficaz, de la izquierda indica una lectura correcta, pero el polímetro, RMS, de valor promedio, de la derecha da una lectura un 32% más baja*

# TRMS – Las Mediciones de Verdadero Valor Eficaz

La figura 1 muestra dos polímetros de tenaza situados sobre la misma derivación de un circuito. Los dos instrumentos funcionan correctamente y están calibrados según la especificación del fabricante. La diferencia clave está en la forma en que mide cada uno de ellos.

El polímetro de la izquierda es un instrumento que mide valores verdaderos y el de la derecha es un instrumento calibrado que lee valores promedio. Para apreciar la diferencia es preciso comprender lo que significa realmente RMS.

## ¿Qué es RMS?

La magnitud de la Media Cuadrática, en inglés Root Mean Square (RMS), también denominado valor eficaz, de una corriente alterna, es el valor de la corriente continua equivalente que produciría la misma cantidad de calor en una carga resistiva determinada. La cantidad de calor producida en una resistencia por una corriente alterna es proporcional a la media del cuadrado de la corriente a lo largo de un ciclo completo de la forma de onda. En otras palabras, el calor producido es proporcional a la media del cuadrado, de modo que el valor de la corriente es proporcional a la raíz cuadrada de la media de los valores al cuadrado o RMS (La polaridad es irrelevante ya que el cuadrado es siempre positivo).

En una onda senoidal perfecta, como la de la figura 2, el valor RMS (eficaz) es 0,707 veces el valor de pico (o el valor de pico es  $\sqrt{2}$ , o 1,4142, veces el valor RMS). Dicho de otro modo, el valor de pico de una corriente de onda senoidal pura de 1 amperio RMS será de 1,4142 amperios. Si nos limitamos a tomar la media de la magnitud de la forma de onda (invirtiendo el semiciclo negativo), el valor medio es 0,636 veces el valor de pico, o 0,9 veces el valor RMS. Hay dos relaciones importantes que se muestran en la figura 2:

$$\text{Factor de pico} = \frac{\text{Valor de pico}}{\text{Valor RMS}} = 1.414 \quad \text{y} \quad \text{Factor de forma} = \frac{\text{Valor RMS}}{\text{Valor medio}} = 1.111$$

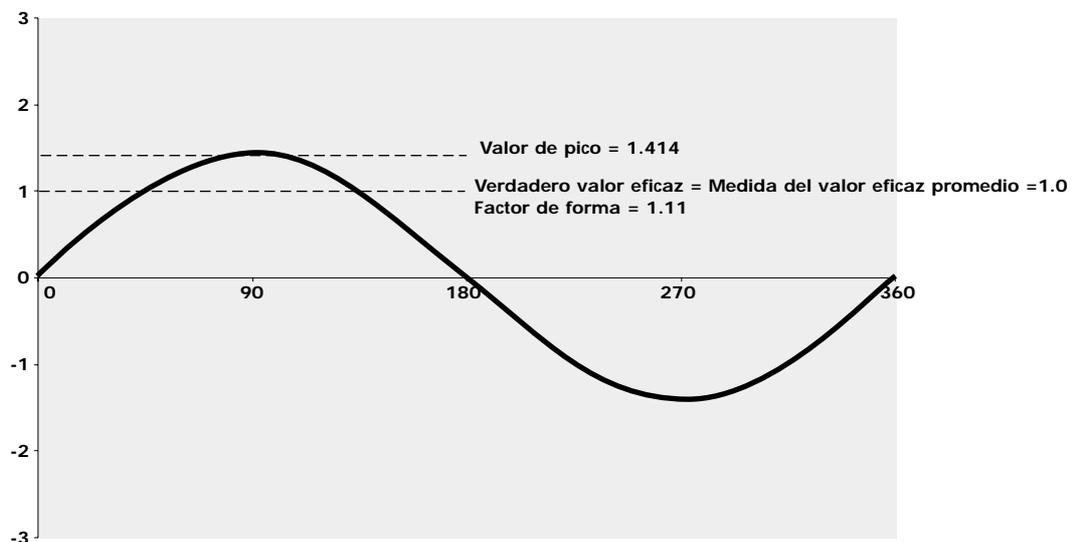


Figura 2 - Forma de onda senoidal pura

Al medir una onda senoidal pura - pero sólo en una onda senoidal pura - es correcto tomar simplemente la medida del valor medio (0,636 x valor de pico) y multiplicar el resultado por el factor de forma, (con lo que se obtiene 0,707 veces el valor de pico) y denominarlo valor RMS (eficaz). Esta es la aproximación que toman todos los instrumentos de medida analógicos (en los que la media se obtiene mediante la inercia y el amortiguamiento del movimiento del bobinado) y en todos los polímetros digitales antiguos más corrientes. Esta técnica se denomina medición de "lectura promedio con calibración RMS".

El problema radica en que esta técnica sólo es válida para ondas senoidales puras y las ondas senoidales puras no existen en el mundo real de una instalación eléctrica. La forma de onda que se muestra en la figura 3 es la típica correspondiente a la forma de onda de corriente generada por un ordenador personal. El valor RMS verdadero sigue siendo de 1 amperio, pero el valor de pico es mucho más elevado, ya que llega a 2,6 amperios, y el valor medio es muy inferior, de 0,55 amperios.

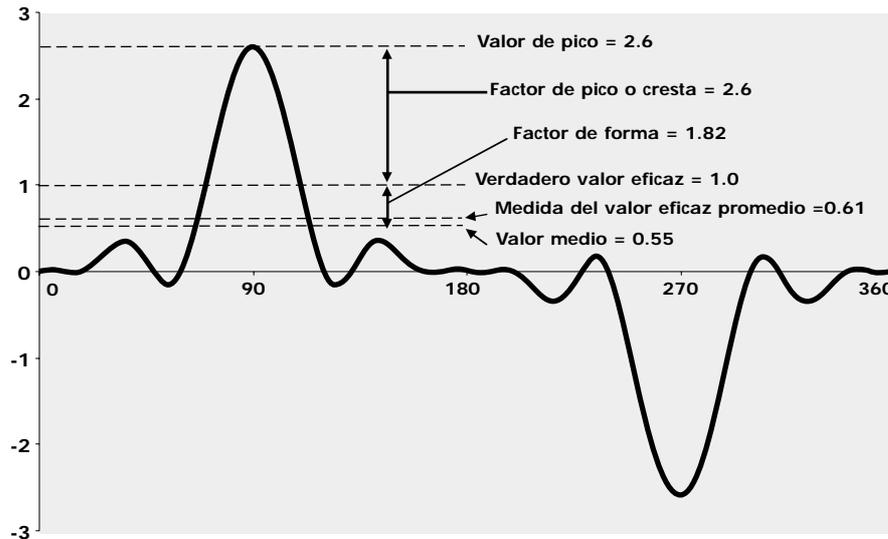


Figura 3 - Forma de onda de corriente típica generada por un ordenador personal

Si esta forma de onda se mide con un polímetro de valor promedio RMS calibrado, la lectura será de 0,61 amperios en lugar del valor verdadero de 1 amperio, casi un 40% más baja. A continuación, en la tabla 1, se dan algunos ejemplos de la forma en que los dos tipos diferentes de aparatos de medición responde a distintas formas de onda.

Un polímetro TRMS de verdadero valor eficaz funciona tomando el cuadrado del valor instantáneo de la corriente de entrada, calculando la media con respecto al tiempo y mostrando después la raíz cuadrada de esa media. Cuando este procedimiento está perfectamente programado, el aparato de medida es absolutamente exacto cualquiera que sea la forma de onda. Naturalmente la programación nunca es perfecta y hay que tener en cuenta dos factores que limitan la exactitud: la respuesta de frecuencia y el factor de pico o de cresta.

En los trabajos relacionados con sistemas de suministro de energía, suele ser suficiente considerar hasta el 50º armónico, es decir, hasta una frecuencia de unos 2500 Hz. El factor de cresta, la relación entre el valor de pico y el valor RMS (valor eficaz), es importante: un mayor factor de cresta requiere un aparato de medida con mayor rango dinámico y por lo tanto una mayor precisión en los circuitos de conversión. Normalmente se requerirán instrumentos con capacidad para un valor del factor de cresta, por lo menos, igual a tres.

Conviene recordar que, a pesar de que dan lecturas diferentes cuando se utilizan para medir formas de onda distorsionadas, los aparatos de medida de ambos tipos darán la misma lectura si se emplean para medir una forma de onda senoidal perfecta. En la condición bajo la cual han sido calibrados, ambos aparatos estarán certificados como calibrados pero sólo para su empleo con formas de ondas senoidales.

Los aparatos de medida TRMS de verdadero valor eficaz existen desde hace al menos 30 años, pero generalmente se trataba de instrumentos especializados y muy costosos. Los avances en la electrónica permiten en la actualidad que la capacidad de medir valores TRMS esté incorporada en muchos polímetros portátiles. Desgraciadamente esta característica sólo

Tipo de multímetro	Onda senoidal pura	Onda cuadrada	Diodo rectificador monofásico	Diodo rectificador trifásico
Forma de onda				
RMS de valor promedio	Correcto	10% más alto	40% más bajo	5-30% más bajo
TRMS de verdadero valor eficaz	Correcto	Correcto	Correcto	Correcto

Tabla 1 - Comparación entre un multímetro RMS y TRMS

puede encontrarse en aparatos del extremo superior de la gama de la mayoría de los fabricantes, pero a pesar de ello aún son lo bastante económicos como para adquirirlos como instrumentos de trabajo normal para ser utilizados por todos y a diario.

## **Las consecuencias de mediciones demasiado bajas**

Los valores nominales de régimen de funcionamiento de la mayoría de los elementos de los circuitos eléctricos vienen determinados por la cantidad de calor que son capaces de disipar de forma que el elemento o componente no sufra un sobrecalentamiento.

Por ejemplo, las tablas de carga de los cables indican las intensidades admisibles en servicio permanente, para determinadas condiciones de instalación, que determinan la capacidad de disipación del calor generado por el paso de la corriente, y una temperatura máxima de funcionamiento. Como las corrientes contaminadas con armónicos tienen un verdadero valor eficaz de la corriente (TRMS) más elevado que el medido por los instrumentos de valor promedio (RMS), es posible que los cables instalados sean de unas secciones inferiores a las necesarias y se calienten mucho más de lo esperado. El resultado es la degradación del material aislante, los fallos prematuros y el riesgo de incendios.

Análogamente, las barras colectoras se dimensionan calculando el equilibrio entre la disipación del calor de las barras por convección y radiación y el calentamiento debido a las pérdidas resistivas. La temperatura a la que se alcanza este equilibrio es la temperatura de servicio de la barra colectora, y ésta se diseña de modo que dicha temperatura de servicio sea lo bastante baja para que no se produzca un envejecimiento prematuro de los materiales de aislamiento y soporte. Al igual que en el caso de los cables, los errores al medir el valor eficaz verdadero darán como consecuencia temperaturas de funcionamiento más altas. Como las barras colectoras son normalmente de unas dimensiones físicas grandes, el efecto superficial es más evidente que en los conductores de menor tamaño, lo que provoca un mayor incremento adicional de temperatura.

Los valores nominales de otros componentes de los sistemas eléctricos, tales como los fusibles y las partes térmicas de los disyuntores deben establecerse con respecto a la corriente verdadera (TRMS) ya que sus características están relacionadas con la disipación del calor. Esta es la principal causa de las desconexiones intempestivas, puesto que la corriente efectiva es superior a la prevista, de modo que el disyuntor está trabajando en una zona en la que su uso prolongado terminará provocando el disparo por calentamiento excesivo. La respuesta de la parte térmica de un disyuntor parece impredecible. Como ocurre cuando se produce cualquier interrupción en el suministro de energía, el coste de los fallos debidos a interrupciones anómalas puede ser muy elevado, ya que puede provocar pérdidas de datos en sistemas informáticos, interrupción de los sistemas de control de procesos, etc. Estos temas se tratan en la sección 2 de esta Guía.

Evidentemente, sólo los instrumentos de medida TRMS, de verdadero valor eficaz, proporcionarán las mediciones correctas para poder determinar adecuadamente el dimensionamiento de los cables, barras colectoras y disyuntores. Una pregunta importante sería: "¿Es este polímetro un instrumento de medida TRMS de verdadero valor eficaz?" Normalmente, si un polímetro mide valores TRMS la documentación que describe sus características lo indicará claramente, pero con frecuencia esta documentación no está a mano cuando se la necesita. La respuesta puede obtenerse comparando sus mediciones con las de un polímetro conocido de lecturas de valores promedio RMS, normalmente será el más barato de que se disponga, o con las de uno que se sepa que mide valores TRMS al medir la corriente en una carga no lineal como la de un PC y la corriente generada por una lámpara de incandescencia. Ambos instrumentos de medida deben indicar la misma lectura para la corriente de una lámpara de incandescencia. Si uno de los instrumentos da una lectura significativamente mayor que el otro, pongamos por caso, más del 20%, para la carga del PC, probablemente sea un instrumento de medida de verdadero valor eficaz (TRMS); si las lecturas son similares, los polímetros son del mismo tipo.

## **Conclusión**

La determinación de valores eficaces verdaderos (TRMS) es esencial en cualquier instalación donde exista un número importante de cargas no lineales (PCs, compensadores electrónicos, lámparas fluorescentes compactas, etc.). Los aparatos de medida que dan valores promedios darán mediciones inferiores a las reales de hasta un 40%, lo cual puede traer como consecuencia que los cables y los disyuntores se dimensionen con valores inferiores a los adecuados con el consiguiente riesgo de fallos y de desconexiones intempestivas.

# Red de Colaboradores

## Copper Benelux

168 Avenue de Tervueren  
B-1150 Brussels  
Belgium

Tel: 00 32 2 777 7090  
Fax: 00 32 2 777 7099  
Email: mail@copperbenelux.org  
Web: www.copperbenelux.org

Contact: Mr B Dôme

## Copper Development Association

Verulam Industrial Estate  
224 London Road  
St Albans AL1 1AQ  
United Kingdom

Tel: 00 44 1727 731205  
Fax: 00 44 1727 731216  
Email: copperdev@compuserve.com  
Webs: www.cda.org.uk & www.brass.org

Contact: Mrs A Vessey

## Deutsches Kupferinstitut e.V

Am Bonnheshof 5  
D-40474 Duesseldorf  
Germany

Tel: 00 49 211 4796 323  
Fax: 00 49 211 4796 310  
Email: sfassbinder@kupferinstitut.de  
Web: www.kupferinstitut.de

Contact: Mr S Fassbinder

## ECD Services

Via Cardinal Maffi 21  
I-27100 Pavia  
Italy

Tel: 00 39 0382 538934  
Fax: 00 39 0382 308028  
Email: info@ecd.it  
Web: www.ecd.it

Contact: Dr A Baggini

## European Copper Institute

168 Avenue de Tervueren  
B-1150 Brussels  
Belgium

Tel: 00 32 2 777 70 70  
Fax: 00 32 2 777 70 79  
Email: eci@eurocopper.org  
Web: www.eurocopper.org

Contact: Mr H De Keulenaer

## Hevrox

Schoebroekstraat 62  
B-3583 Beringen  
Belgium

Tel: 00 32 11 454 420  
Fax: 00 32 11 454 423  
Email: info@hevrox.be

Contact: Mr I Hendrikx

## HTW

Goebenstrasse 40  
D-66117 Saarbruecken  
Germany

Tel: 00 49 681 5867 279  
Fax: 00 49 681 5867 302  
Email: wlang@htw-saarland.de

Contact: Prof Dr W Langguth

## Istituto Italiano del Rame

Via Corradino d'Ascanio 4  
I-20142 Milano  
Italy

Tel: 00 39 02 89301330  
Fax: 00 39 02 89301513  
Email: ist-rame@wirednet.it  
Web: www.iir.it

Contact: Mr V Loconsolo

## KU Leuven

Kasteelpark Arenberg 10  
B-3001 Leuven-Heverlee  
Belgium

Tel: 00 32 16 32 10 20  
Fax: 00 32 16 32 19 85  
Email: ronnie.belmans@esat.kuleuven.ac.be

Contact: Prof Dr R Belmans

## Polish Copper Promotion Centre SA

Pl.1 Maja 1-2  
PL-50-136 Wroclaw  
Poland

Tel: 00 48 71 78 12 502  
Fax: 00 48 71 78 12 504  
Email: copperpl@wroclaw.top.pl

Contact: Mr P Jurasz

## TU Bergamo

Viale G Marconi 5  
I-24044 Dalmine (BG)  
Italy

Tel: 00 39 035 27 73 07  
Fax: 00 39 035 56 27 79  
Email: graziana@unibg.it

Contact: Prof R Colombi

## TU Wroclaw

Wybrzeze Wyspianskiego 27  
PL-50-370 Wroclaw  
Poland

Tel: 00 48 71 32 80 192  
Fax: 00 48 71 32 03 596  
Email: i8@elektryk.ie.pwr.wroc.pl

Contact: Prof Dr H Markiewicz



**FLUKE**®

Fluke (UK) Ltd  
The Metro Centre  
Dwight Road  
Watford WD1 8HG  
United Kingdom

Tel: 00 44 1923 216400  
Fax: 00 44 1923 216405  
Email: [industrial@uk.fluke.nl](mailto:industrial@uk.fluke.nl)  
Website: [www.fluke.com](http://www.fluke.com)

*Ken West*

 **CEDIC**  
CENTRO ESPAÑOL DE  
INFORMACIÓN DEL COBRE

Princesa, 79  
28008 Madrid  
Tel.: 91 544 84 51  
Fax: 91 544 88 84



European Copper Institute  
168 Avenue de Tervueren  
B-1150 Brussels  
Belgium

Tel: 00 32 2 777 70 70  
Fax: 00 32 2 777 70 79  
Email: [eci@eurocopper.org](mailto:eci@eurocopper.org)  
Website: [www.eurocopper.org](http://www.eurocopper.org)