

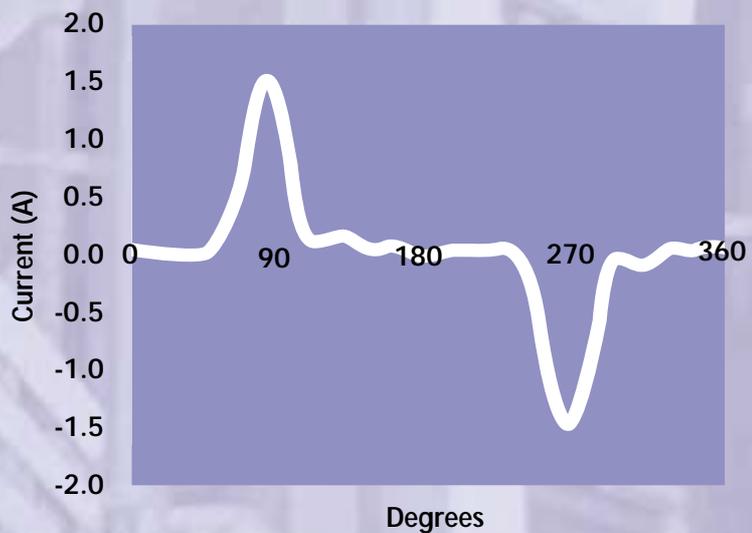
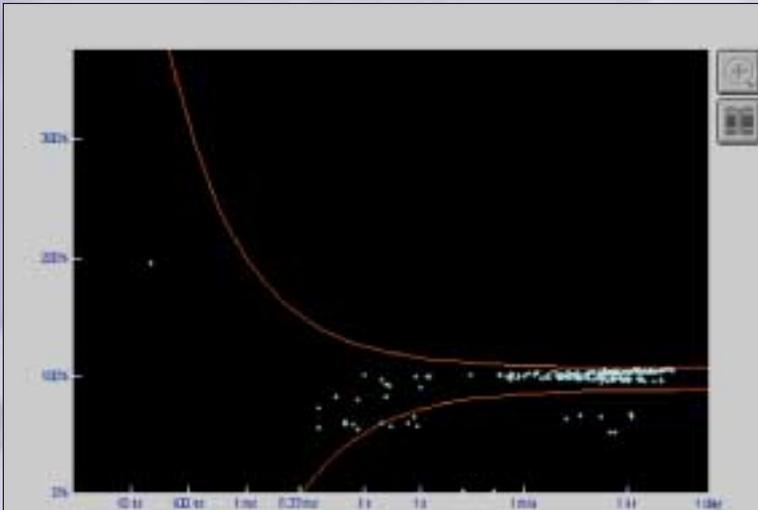
# Guía de Calidad de la Energía Eléctrica



## Costes

### *El Coste de una Mala Calidad de la Energía*

2.1



# Costes

## *El Coste de una Mala Calidad de la Energía Eléctrica*

David Chapman  
Copper Development Association UK  
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 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 y Copper Development Association UK.

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

## El Coste de una Mala Calidad de la Energía

La energía eléctrica es una importante materia prima para todas las operaciones comerciales y como cualquier otra materia prima, la calidad de su suministro es muy importante. Ya se han apuntado en la sección 1 la naturaleza y las causas de los defectos en la calidad de la energía y se tratarán en detalle en las secciones posteriores. Esta sección se centrará en los efectos de los defectos en la producción y los costes que se puede esperar que se deriven de ellos. Como se indicó en la sección 1, existen cinco tipos básicos de defectos, cada uno de ellos con causas diferentes y, por supuesto, con distintas implicaciones en los costes.

Se estima que los problemas relacionados con la calidad de la energía le suponen al comercio y a la industria de la UE un coste de unos 10.000 millones de euros al año, mientras que el gasto en medidas preventivas es inferior al 5% de esta cantidad. La pregunta es evidente: ¿Cuánto dinero se debe invertir en prevención para compensar el riesgo de que se produzcan fallos?. La respuesta depende de la naturaleza de cada empresa. El primer paso consiste en comprender la naturaleza de los problemas y estudiar la forma en que cada uno de ellos afecta a la actividad empresarial y qué pérdidas pueden ocasionar. En las secciones siguientes se tratan los problemas derivados de la calidad de la energía desde el punto de vista de su potencial para interrumpir la actividad de las empresas; en secciones posteriores de esta Guía se da información sobre sus causas, efectos y como abordarlas.

### Distorsión Armónica

La distorsión armónica, introducida por cargas no lineales en el sistema de alimentación de energía eléctrica, provoca corrientes que son de una magnitud superior a la esperada y que contienen componentes de frecuencias armónicas. Estas corrientes no pueden medirse adecuadamente con algunos de los instrumentos portátiles de bajo coste que normalmente utilizan los técnicos de instalación y mantenimiento. Dichos instrumentos dan lecturas con importantes subestimaciones en los valores de las corrientes medidas - a veces con errores de hasta el 40%. Este error en la apreciación de la magnitud puede hacer que los circuitos se realicen con conductores de secciones excesivamente pequeñas. Incluso, aún cuando la corriente esté dentro de los márgenes del dispositivo de protección contra sobrecorrientes instalado, los conductores trabajarán a temperaturas superiores a las normales, disipando mayor cantidad de energía. Normalmente estas pérdidas pueden suponer entre el 2 y el 3% de la carga. Frecuentemente, el valor del punto de disparo del dispositivo de protección contra sobrecorrientes estará demasiado próximo a la corriente real de carga, puesto que ésta fue subestimada y el circuito tendrá tendencia a desconectarse a causa de los denominados "disparos intempestivos" de los elementos de protección.

Los componentes de frecuencias armónicas provocan un gran aumento en las pérdidas por corrientes parásitas en los transformadores debido a que estas pérdidas son proporcionales al cuadrado de la frecuencia. Al ser superiores las pérdidas, la temperatura de funcionamiento del transformador es más alta de lo normal por lo que su vida útil se acorta considerablemente. Incluso los transformadores de poca potencia que alimentan cargas de sistemas informáticos tendrán una vida útil mucho más corta de lo esperado a menos que se tomen precauciones adecuadas.

Los efectos económicos de los armónicos son el acortamiento de la vida útil de los equipos, la reducción de la eficiencia de la energía y la posibilidad de desconexiones intempestivas de la instalación. El coste de dichas desconexiones como el de cualquier otra interrupción no prevista, puede ser muy elevado y se tratará en una sección posterior de esta Guía dedicada a las bajadas o huecos de tensión. El acortamiento de la vida útil de los equipos puede resultar muy costoso. Se espera que equipos como los transformadores duren treinta o cuarenta años y tener que sustituirlos en un plazo de siete a diez años puede tener consecuencias financieras graves. El coste de las medidas para evitarlo es relativamente pequeño, ya que sólo requiere utilizar buenos sistemas de instalación y una selección adecuada de los equipos. La instalación de cables cuyas secciones sean uno o dos niveles superiores a los mínimos calculados reduce las pérdidas y los costes de funcionamiento con un incremento muy pequeño del coste inicial.

### Apagones

Los apagones son los más evidentes de los problemas de calidad de la energía y pueden durar desde varios segundos hasta, en un célebre caso extremo, meses. En el Reino Unido el promedio

*Los problemas de la calidad de la energía eléctrica le cuestan a la industria y al comercio en la Unión Europea alrededor de 10.000 millones de euros al año.*

*El coste de evitar los problemas es relativamente pequeño, y sólo requiere un buen diseño de la instalación y una selección adecuada de los equipos.*

de duración de un apagón es de unos cien minutos y se produce cada quince meses, pero los sucesos individuales puede ser muy cortos y mucho más frecuentes. Por supuesto, la red pública de suministro no es la única fuente de fallos. Dentro de la instalación de un edificio o planta habrá muchas zonas en las que el fallo de un solo componente, cable o conexión puede producir una interrupción del suministro de corriente eléctrica.

La protección contra un corte del suministro de energía eléctrica requiere dos tipos de acciones. La instalación deberá diseñarse eliminando los puntos débiles donde pueda producirse un fallo o, al menos, aquellos que en un estudio de riesgos se hayan identificado como los de mayor riesgo y, por otro lado, deberán tomarse medidas para determinar la necesidad de una fuente de alimentación de emergencia. En la sección 4 se tratará el diseño resistente a fallos.

Las técnicas que se requieren no son ni difíciles ni particularmente costosas, pero pueden, por si solas, proporcionar considerables beneficios. Como siempre, estas técnicas son mucho más baratas si se introducen durante la fase de inicial del diseño que si se realizan una vez puesta en servicio la instalación. Las fuentes de energía alternativas pueden resultar muy costosas tanto de adquirir como de mantener - no tiene mucho sentido disponer de un generador de emergencia, por ejemplo, si no está preparado para un arranque rápido - y debe estudiarse cuidadosamente la necesidad y el tipo de alimentación requerida. Al juzgar la viabilidad económica de invertir en una planta generadora de energía en la instalación debe recordarse que una vez instalada la protegerá contra fallos durante muchos años.

Grandes industrias consumidoras de grandes cantidades de energía, como la del acero o del papel, necesitan una segunda línea de alimentación tomada de una parte distinta de la red de suministro de modo que sea muy poco probable que un fallo determinado afecte simultáneamente a las dos fuentes de alimentación. Como alternativa puede ser viable la generación de toda la energía necesaria en la propia planta, si se dispone del adecuado suministro de carburante. En cualquier caso, es probable que el coste inicial sea muy elevado, pero también lo es el coste potencial de un fallo en el suministro de energía. El papel, por ejemplo, se fabrica en un proceso continuo que requiere unas velocidades controladas con precisión en cientos de rodillos de una máquina que puede llegar a tener unos quinientos metros de longitud. Cualquier fallo en el suministro de energía eléctrica, aunque sólo sea una bajada de temporal de tensión, provocará la pérdida de sincronización de los rodillos y hará que todo el proceso se detenga. Toda la pulpa y el papel en curso de fabricación deberán retirarse de la máquina y de la zona circundante antes de volver a poner en marcha la máquina, lo que puede suponer muchas horas de trabajo. Aparte de la pérdida de producción y el desperdicio de materias primas y de horas de trabajo, la imposibilidad de suministrar la mercancía al cliente es muy importante. El papel para imprimir prensa diaria, por ejemplo, se utiliza en cantidades tan enormes que es imposible, tanto para el proveedor como para el cliente, mantener un stock de reserva. Es preciso que el suministro llegue "justo a tiempo" y el papel de prensa se fabrica, utiliza y desecha en sólo pocos días. El fallo en la entrega de la industria papelera significa que el editor no podrá imprimir y, como las noticias del día anterior no tienen ningún valor pero sí un coste considerable, las consecuencias financieras serán muy graves. Esta situación puede hacer que el editor decida cambiar de proveedor o modificar los términos del contrato de suministro introduciendo severas cláusulas de penalización.

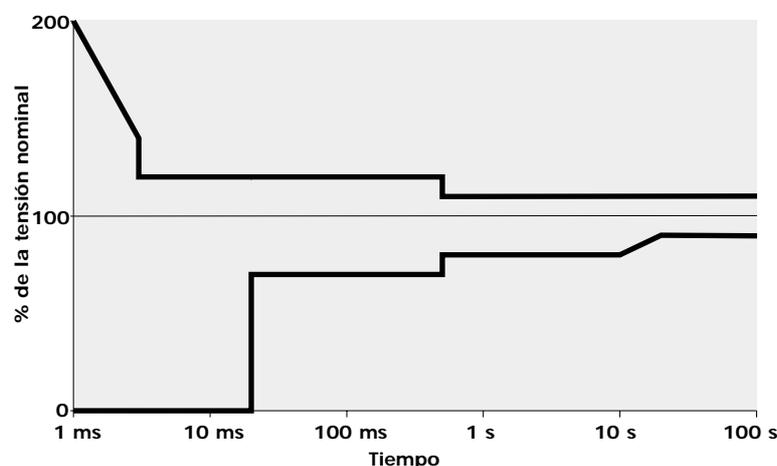


Figura 1 - Curva ITIC

# *El Coste de una Mala Calidad de la Energía*

En industrias más pequeñas, con menores necesidades de suministro de energía eléctrica, puede ser posible disponer de generadores propios para alimentar los equipos esenciales durante los apagones y para reducir los picos de demanda. Esta solución es mucho más barata, pero sigue siendo necesario juzgar su coste comparándolo con el de los riesgos de fallo; una valoración que sólo puede hacer el propio usuario. Debe recordarse que un generador de emergencia necesita cierto tiempo para ponerse en marcha, por lo que se deberá disponer de alguna otra fuente de alimentación de refuerzo, como por ejemplo una UPS, para atender a las cargas sensibles. Una UPS tiene una capacidad limitada, por lo que es importante utilizarla exclusivamente para alimentar cargas esenciales, tales como los servidores y las estaciones de trabajo críticos de una red informática y nada más. Como siempre, son fundamentales unos programas de mantenimiento adecuados.

## **Bajadas de tensión**

Las bajadas, huecos o valles de tensión son disminuciones del valor eficaz de la tensión de alimentación de corta duración, que puede variar desde una fracción de segundo hasta varios segundos (según UNE-EN 50160, desde 0,01 s hasta 1 minuto). Las bajadas de tensión se caracterizan por su duración y la tensión remanente, es decir, el valor mínimo del porcentaje de la tensión nominal eficaz de alimentación que permanece durante el suceso. Es preciso tener en cuenta que una muy corta pero completa falta de alimentación eléctrica se denomina interrupción, pero con frecuencia, también se hace referencia a ella como a una bajada de tensión.

La curva del Consejo Tecnológico de la Industria Informática (ITIC) antes conocida como curva de la Asociación de Fabricantes de Equipos Empresariales y Ordenadores (CBEMA) que se muestra en la figura 1, describe la tolerancia de los equipos a cualquier tipo de perturbación de la tensión. Las líneas continuas representan las tensiones máximas y mínimas tolerables, respecto al tiempo, sin que se produzcan alteraciones en el funcionamiento de los equipos. Por ejemplo, los equipos informáticos deben ser capaces de tolerar unas sobretensiones de cinco veces el valor nominal de la fuente de alimentación de una duración de 0,1 milisegundo, pero sólo una sobretensión del 20% durante 10 ms. Por lo que respecta a las pérdidas de tensión, se puede tolerar una pérdida total de la tensión de alimentación durante 20 ms (un ciclo de la tensión de alimentación) pero para 100 ms la mínima tensión remanente debe de ser el 70% de la nominal. Originariamente, la curva se elaboró para ayudar a los usuarios de los equipos informáticos a negociar los problemas de calidad de la energía con los suministradores de energía eléctrica. A partir del establecimiento de estos requisitos en los equipos fue mucho más fácil determinar mediante mediciones "in situ" si el suministro de energía eléctrica recibido era adecuado o no. Como se comprenderá fácilmente, ¡la curva ITIC presenta una visión demasiado optimista del rendimiento de las redes de suministro!.

Muchas bajadas de tensión las provocan los fallos en la red de suministro, y su severidad depende de las localizaciones relativas del generador, del punto donde se produce el fallo y del punto de donde se realiza la medición (en la sección 5 se encontrará una descripción completa). No hay estadísticas oficiales sobre la severidad y la distribución de las bajadas de tensión, pero en la actualidad se están realizando algunas mediciones de escala media que se espera proporcionen una valiosa información a su debido tiempo.

En un estudio realizado por un importante suministrador de energía se midieron perturbaciones de tensión en doce emplazamientos que presentaban una demanda entre 5 y 30 MVA. A lo largo de un periodo de 10 meses se registraron 858 perturbaciones, 42 de las cuales provocaron cortes de suministro y pérdidas económicas. Aunque en los doce emplazamientos se realizaban operaciones de baja tecnología para la fabricación de productos de poco valor añadido, las pérdidas financieras alcanzaron un total de 600.000 euros (una media de 14.300 euros por suceso o de 50.000 por emplazamiento), siendo la pérdida individual más elevada de 165 000 euros.

Está claro que aquellas plantas industriales en las que se fabrican productos de elevado valor añadido o aquellas que requieren procesos en cadena, como en el caso de los semiconductores, tendrán pérdidas mucho mayores. La tabla que se presenta a continuación indica algunos valores típicos.

Se trata de unos costes enormes provocados por lo que pudieran parecer sucesos triviales que duraron menos de un segundo. El problema es que, como la respuesta a las bajadas de tensión de

*Un importante  
suministrador  
de energía  
registró en un  
periodo de  
diez meses 858  
perturbaciones  
con unas  
pérdidas  
financieras  
totales de unos  
600.000 euros.*

*Se debe tener en cuenta el coste de sustitución de los equipos dañados y el coste asociado a la interrupción de la actividad.*

<b>Industria</b>	<b>Pérdidas financieras típicas por suceso</b>
Fabricación de semiconductores	3 800 000 euros
Actividades financieras	6 000 000 euros/hora
Centros informáticos	750 000 euros
Telecomunicaciones	30 000 euros/min.
Industria siderúrgica	350 000 euros
Industria del vidrio	250 000 euros

determinados elementos tales como los equipos de proceso de datos, o reguladores de velocidad de motores es imprevisible, no es posible predecir o controlar el comportamiento de un sistema. En el caso de procesos continuos, como el de la fabricación de papel, el efecto de una bajada de tensión es tan grave como una interrupción total del suministro de energía eléctrica, con los mismos costes de limpieza, pérdida de materias primas y de producción.

En las actividades basadas en el funcionamiento de ordenadores, el tiempo necesario para reiniciar un gran número de estaciones de trabajo y para recuperar transacciones pendientes y documentos no guardados puede llegar a ser de varias horas.

La industria de los semiconductores es especialmente vulnerable porque para la fabricación de las obleas son necesarias aproximadamente una docena de fases que deben completarse a lo largo de varios días. Si una oblea se deteriora hacia el final del proceso se pierde todo el valor del trabajo realizado hasta entonces. El ritmo del desarrollo de los semiconductores es ahora tan rápido, la competencia tan intensa y los ciclos de vida de los productos tan cortos, que la pérdida de producción es un importante motivo de preocupación no solo para los proveedores, sino también para sus clientes, que no pueden fabricar ni servir sus propios productos.

Los sistemas de alimentación ininterrumpida "on line", en los cuales la alimentación de la carga es suministrada continuamente desde una batería de acumuladores, que se carga constantemente desde la red de alimentación, proporcionan por su propia naturaleza inmunidad frente a las bajadas de tensión. Las unidades (UPS) no conectadas a la línea son menos seguras porque la ausencia del suministro de energía eléctrica debe detectarse antes de que la carga sea conectada al generador interno. Si el umbral de detección es demasiado alto, la UPS se conectará y desconectará frecuentemente de forma innecesaria mientras que si el límite es demasiado bajo las bajadas de tensión dañinas pueden llegar a la carga. Antes de seleccionar un modelo determinado deberán consultarse detalladamente sus especificaciones.

## **Perturbaciones transitorias**

Las perturbaciones transitorias son perturbaciones de tensión de muy corta duración, de unos pocos milisegundos, pero de gran magnitud, de hasta varios miles de voltios, con un tiempo de subida muy rápido. La mayoría de las perturbaciones transitorias proceden de los efectos de las descargas atmosféricas (caídas de rayos en las líneas aéreas) o de la conmutación de cargas muy grandes o reactivas. A causa de las altas frecuencias asociadas a estas perturbaciones, se atenúan considerablemente al propagarse a través de la red, por lo que las que se produzcan en las inmediaciones del punto considerado serán mucho más intensas que las que se originen en puntos más distantes de la red. Los dispositivos de protección de la red controlan que las perturbaciones transitorias se mantengan por lo general dentro de unos niveles aceptables por lo que la mayoría de los problemas se producen porque la fuente de la perturbación transitoria está próxima o dentro de la propia instalación. Las perturbaciones transitorias se tratan en detalle en la sección 5.

Los daños que producen pueden ser instantáneos, como el fallo catastrófico de la maquinaria o aparatos eléctricos, o la corrupción de datos en los ordenadores o en el cableado de la red informática; o pueden ser progresivos en cuyo caso cada suceso contribuirá un poco más a dañar los

# *El Coste de una Mala Calidad de la Energía*

---

materiales de aislamiento hasta que se produce el fallo catastrófico. Debe considerarse el coste de sustituir los equipos averiados y el coste del periodo de paralización por avería.

La protección es relativamente barata. El requisito básico es que el sistema de tomas de tierra de la instalación debe estar diseñado para que tenga una baja impedancia dentro de una amplia gama de frecuencias, con una buena conexión de baja impedancia a tierra al electrodo de toma de tierra. Los sistemas de toma de tierra se tratan en detalle en la sección 6.

El sistema de protección contra descargas atmosféricas debe diseñarse adecuadamente, teniendo en cuenta los factores locales, tales como el número de días de tormenta al año.

La protección contra perturbaciones transitorias debe instalarse a la entrada de todos los conductores entrantes, incluyendo los del teléfono y otras líneas de comunicación. El fabricante de los equipos deberá haber previsto los dispositivos adecuados para la supresión de las perturbaciones transitorias procedentes de los equipos de conmutación y habrán de adoptarse programas de mantenimiento adecuados para asegurar que siguen siendo eficaces las medidas de protección.

## **Conclusión**

El riesgo que para las actividades empresariales representan los problemas de calidad de la energía real, e incluso las industrias de "baja tecnología" están expuestas a graves pérdidas financieras. Por otra parte, la prevención es relativamente barata y las soluciones van desde el simple empleo de buenas prácticas de diseño hasta la instalación de equipos de prevención disponibles en el mercado.

---

## **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

### **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

### **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

### **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

### **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 Hendrikk

### **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

### **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

### **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

### **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

### **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

### **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

### **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



*David Chapman*

 Copper Development Association

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

Tel: 00 44 1727 731200  
Fax: 00 44 1727 731216  
Email: [copperdev@compuserve.com](mailto:copperdev@compuserve.com)  
Websites: [www.cda.org.uk](http://www.cda.org.uk)  
[www.brass.org](http://www.brass.org)

 **CEDIC**  
CENTRO ESPAÑOL DE  
INFORMACIÓN DEL COBRE

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

 **COPPER**  
INSTITUTE

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)