



Editorial de la Universidad
Tecnológica Nacional

Calidad de energía: Medición de armónicas de tensión en una instalación urbana

Diego M. Ferreyra y Alejandro D. Gudiño

Grupo **GISENER** (Grupo de Investigación Sobre **ENER**gía)

Facultad Regional San Francisco
Universidad Tecnológica Nacional – U.T.N.
Argentina

2012

Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional – edUTecNe

<http://www.edutecne.utn.edu.ar>

edutecne@utn.edu.ar

© [Copyright] La Editorial de la U.T.N. recuerda que las obras publicadas en su sitio web son *de libre acceso para fines académicos y como un medio de difundir el conocimiento generado por autores universitarios*, pero que los mismos y edUTecNe se reservan el derecho de autoría a todos los fines que correspondan.

Calidad de energía: Medición de armónicas de tensión en una instalación urbana

Autores: Diego M. Ferreyra ⁽¹⁾, Alejandro D. Gudiño ⁽²⁾

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco
Grupo **GISENER** (Grupo de Investigación Sobre **ENER**gía)
Avenida de la Universidad 501 (2400) San Francisco. Provincia de Córdoba. ARGENTINA.
Tel. ++54-3564-421147/435402, <http://www.frfsco.utn.edu.ar/>

⁽¹⁾: dferreyra@frfsco.utn.edu.ar; ⁽²⁾: aleg_electromecanica@hotmail.com

Resumen

En este trabajo, se describen los resultados de una medición de componentes armónicas de tensión realizada con un analizador de calidad de energía en un tablero trifásico de la instalación de una facultad de ingeniería. El proceso de medición se extendió por una semana, según lo especificado en la norma EN 50160, y se contemplaron también todas las demás condiciones de medición indicadas en dicha norma. Los valores obtenidos en el tablero de baja tensión medido se compararon con los valores máximos admisibles establecidos en la normativa vigente. La determinación de la situación de los valores medidos en relación con dichos límites permite evaluar cuantitativamente la calidad del producto técnico suministrado por la empresa distribuidora de energía, específicamente en lo que respecta a armónicas de tensión.

Palabras clave

calidad de energía, características de la tensión suministrada, contaminación armónica, distorsión armónica, armónicas de tensión

Objetivos

- Realizar un sondeo de los niveles de contaminación armónica presentes en la tensión de suministro de una instalación de baja tensión.
- Ganar experiencia en el uso del analizador de calidad de energía disponible en el Laboratorio de Electromecánica de la Facultad donde se realiza el trabajo.
- Proporcionar resultados que puedan ser de utilidad como referencia para la empresa local de distribución de energía.
- Presentar un material breve que pueda servir como parte de una introducción accesible a temas de calidad de energía en la carrera Ingeniería Electromecánica de la Facultad donde se realiza el trabajo, o en otras carreras de grado relacionadas.
- Describir pautas generales que puedan servir como propuestas para la realización de trabajos prácticos relacionados con la medición de parámetros de calidad de energía en el ámbito de la carrera Ingeniería Electromecánica o de otras carreras de grado relacionadas.

Introducción

En una red eléctrica, la distorsión de la forma de onda de la tensión de suministro es causada básicamente por la circulación de las corrientes distorsionadas consumidas por cargas de respuesta no lineal, que a grandes rasgos pueden clasificarse de la siguiente manera [1]:

- dispositivos saturables
- dispositivos de arco
- dispositivos con electrónica de potencia

La importancia de evaluar la problemática de la contaminación de la tensión de suministro radica en las diferentes consecuencias que puede provocar su presencia en las líneas de distribución. Entre estas, pueden destacarse las siguientes [1]:

- sobrecarga térmica de condensadores
- desclasificación de transformadores
- par pulsante y sobrecalentamiento de motores
- sobrecarga térmica de todos los conductores
- sobrecarga adicional del conductor neutro por circulación de armónicas de secuencia cero
- alteración del desempeño de equipos de control que detectan ceros o valores de cresta
- desplazamiento de los puntos de actuación de las protecciones
- modificación de las mediciones de potencia y de energía
- generación de interferencias en los medios de comunicación y de transmisión de datos

A nivel nacional, esta problemática está regulada por el ENRE (Ente Nacional Regulador de la Electricidad), por ejemplo con [2], mientras que a nivel internacional se destacan la normalización europea (IEC, EN) como [3, 4], y la normalización estadounidense (IEEE), como [6]. Con esta normativa, se evalúa la calidad del producto técnico, cuyos atributos incluyen no solo el nivel de contaminación armónica, sino también la cuantificación de desequilibrios de tensiones, huecos de tensión, interrupciones, etc., que no están cubiertos en el alcance de este trabajo.

En términos generales, según la normativa vigente, la contaminación armónica presente en la tensión de suministro es responsabilidad de la empresa distribuidora de energía, mientras que los usuarios son responsables de mantener acotados los niveles de distorsión armónica en las corrientes que consumen. En este sentido, habitualmente se prevé un esquema de penalizaciones tanto para la empresa distribuidora como para el usuario, aunque su implementación aún no se ha hecho obligatoria en todas las jurisdicciones.

Sin embargo, se prevé que este tema continúe adquiriendo interés creciente y gradualmente se comiencen a implementar localmente controles en este sentido. Por eso se espera con el presente trabajo realizar un aporte que resulte de utilidad para la empresa distribuidora de energía local, como punto de referencia para la posible realización de campañas de medición más extensas.

Desarrollo

La medición se realizó según lo especificado en la norma EN 50160, "*Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución*"¹, a fin de comparar los resultados obtenidos con los límites establecidos en ella. Las siguientes son las dos especificaciones más importantes de dicha norma que se aplican a este trabajo:

- Durante el período de una semana, en condiciones normales de explotación, el 95 % de los valores eficaces de cada tensión armónica promediados en 10 minutos no deben sobrepasar los valores indicados en la Tabla 1.
- Contemplando todas las armónicas hasta el orden 40, la tasa de distorsión armónica total (THD, *Total Harmonic Distortion*) de la tensión suministrada no debe ser superior a 8 %.

En la Tabla 1 que se muestra a continuación, se enumeran los límites máximos admisibles para las tensiones armónicas expresadas en valores relativos de U_n , que es la tensión nominal en voltios del sistema de baja tensión sobre el cual se realizan las mediciones.

¹ Se utilizaron datos de la versión de 1999 de esta norma, pero dado el fin educativo y prospectivo de este trabajo no se consideró necesario recurrir a una versión más reciente, teniendo en cuenta que no se encontraron evidencias de que los límites aplicables de tensiones armónicas hubieran sido modificados en versiones posteriores.

Armónicas impares				Armónicas pares	
No múltiplos de 3		Múltiplos de 3			
Orden n	Tensión relativa	Orden n	Tensión relativa	Orden n	Tensión relativa
5	6 %	3	5 %	2	2 %
7	5 %	9	1,5 %	4	1 %
11	3,5 %	15	0,5 %	6-24	0,5 %
13	3 %	21	0,5 %		
17	2 %				
19	1,5 %				
23	1,5 %				
25	1,5 %				

Tabla 1: Límites de tensiones hasta la armónica 25, expresados en porcentaje de U_n (EN 50160:1999)

También se analizaron los límites impuestos por la reglamentación del ENRE que rige a nivel nacional y que es más exigente en cuanto a algunos de los valores máximos permitidos. Estos límites impuestos por el ENRE se enumeran en la Tabla 2 que se muestra a continuación.

Impares no múltiplos de 3		Impares múltiplos de 3		Pares	
Orden de la armónica (n)	Nivel de referencia de la armónica (en % con respecto a la fundamental)	Orden de la armónica (n)	Nivel de referencia de la armónica (en % con respecto a la fundamental)	Orden de la armónica (n)	Nivel de referencia de la armónica (en % con respecto a la fundamental)
5	6,0	3	5,0	2	2,0
7	5,0	9	1,5	4	1,0
11	3,5	15	0,3	6	0,5
13	3,0	21	0,2	8	0,5
17	2,0	>21	0,2	10	0,5
19	1,5			12	0,2
23	1,5			>12	0,2
25	1,5				
>25	$0,2 + 0,5 \times 25/n$				

Tasa de Distorsión Total (TDT): 8 %

Tabla 2: Niveles de referencia para las armónicas de tensión en baja tensión ($U \leq 1kV$), que no deben ser superados durante más del 5 % del período de medición. ENRE 0184/2000

Para la medición, se utilizó un analizador de calidad de potencia METREL, modelo Power Quality Analyser-Plus MI 2292, de 0,1 V de resolución y precisión igual a $\pm 0,5 \%$ de la lectura ± 2 dígitos para las mediciones de tensión. Los datos se registraron durante un período de una semana y posteriormente se descargaron y procesaron externamente en una PC. La configuración íntegra del analizador puede modificarse manualmente o desde la PC conectada externamente, opción que se utilizó en este caso.

La medición se realizó entre el lunes 27/8/2012 a las 0.00 h y el lunes 3/9/2012 a las 0.00 h, con períodos de integración de 10 minutos, según lo especificado en la norma de

referencia. El instrumento se conectó con 4 puntas de medición, una por cada una de las tres líneas y la restante para el neutro, de modo que se midieron los valores de las tensiones de fase.

La medición se hizo en un tablero trifásico de baja tensión disponible en el laboratorio de Electromecánica de la Facultad Regional San Francisco de la Universidad Tecnológica Nacional. La idea original era colocar el instrumento en el tablero de acometida a la instalación de la facultad. Este es el punto de acoplamiento común (PCC, *Point of Common Coupling*) donde, según la normativa aplicable, se realizan las mediciones de calidad de energía, ya que se trata del punto de contacto entre la empresa distribuidora de energía y el usuario. Sin embargo, por motivos de seguridad eléctrica, resguardo del equipo y acceso a la tensión tanto para medir como para alimentar el instrumento, se decidió hacer la medición puertas adentro de la instalación, como se muestra en la Fig. 1. En el esquema de conexión de dicha figura, se muestra la medición de corrientes, que en este trabajo no se implementó debido a que el interés se centró en la evaluación de la tensión suministrada.

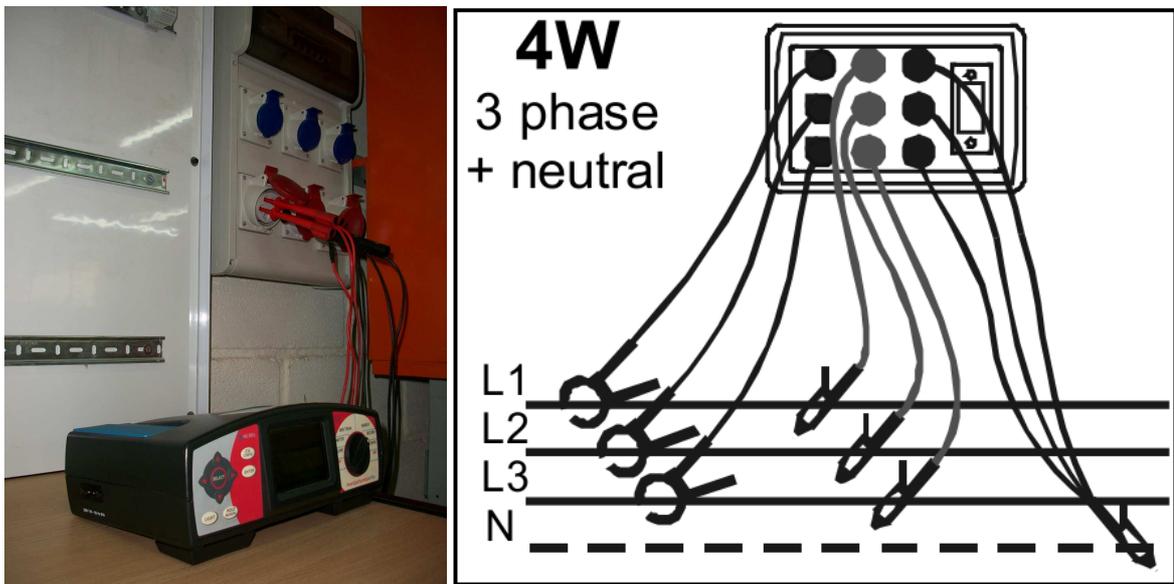


Figura 1. Instalación del instrumento de medición en el laboratorio y esquema de conexión utilizado (en este trabajo, sin incluir la medición de corrientes)

Al indicar la medición de las tensiones de fase, se seleccionaron también sus armónicas hasta el orden 25. Si bien el instrumento puede medir hasta el orden 63, se restringió la medición simplemente por ser pequeña la incidencia práctica de las armónicas de orden superior en la tensión [3]. Esto se verificó por medio de mediciones previas de práctica, al igual que el hecho de que las armónicas pares eran nulas. De todos modos, se registraron los valores de algunas armónicas pares. Cabe aclarar que, aunque se registraron solo algunos órdenes de armónicas, el instrumento registra en cada período de integración el THD calculado con todos los órdenes de armónicas requeridos en la EN 50160, es decir hasta el orden 40.

Se utilizó el software provisto por el fabricante del instrumento para procesar los datos de las mediciones, aunque también se accedió a los datos “crudos”, a fin de analizarlos adicionalmente con una planilla de cálculo. Una vez completada la medición, los datos quedaron guardados en la memoria interna del analizador de calidad de potencia y posteriormente se los exportó en formato *.pmd* para su análisis en la PC.

Finalmente, se procedió a graficar los datos y a compararlos con los límites estipulados. En la Fig. 2, se muestra un gráfico que describe la evolución en el tiempo de los valores de THD promedio en cada una de las tres líneas de la instalación.

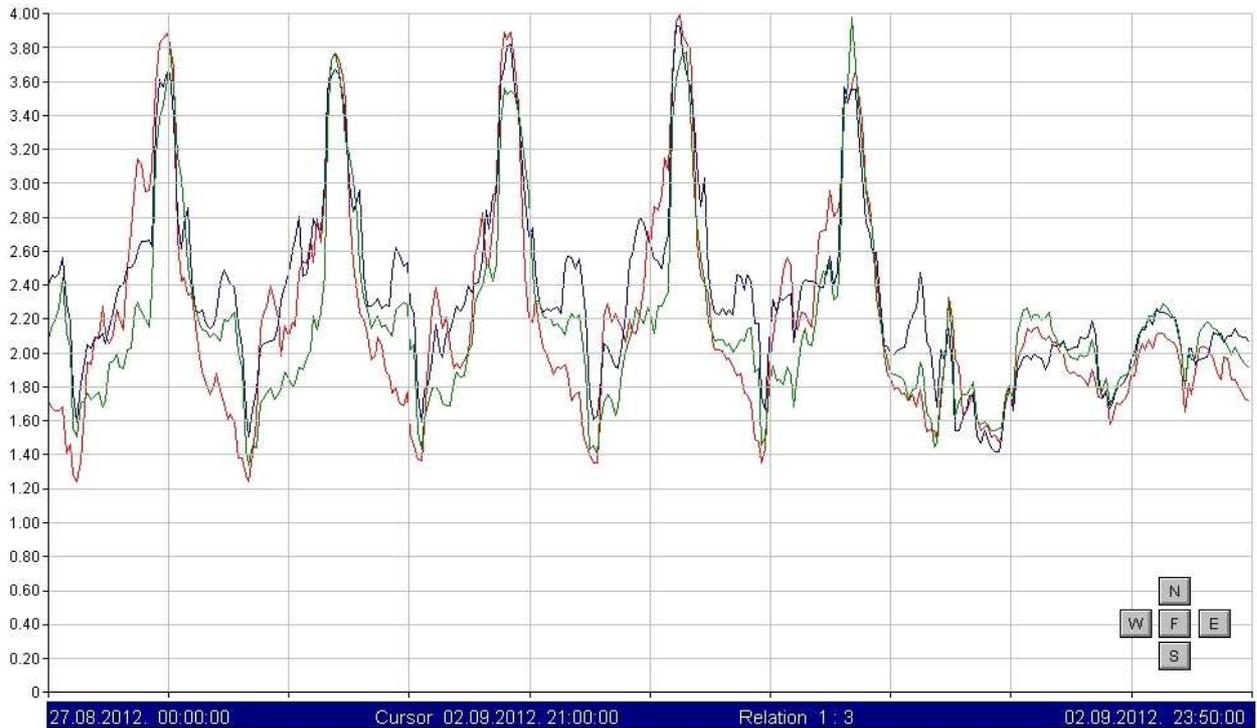


Figura 2. Evolución del THD promedio en las tres líneas durante los 7 días de medición

En la Fig. 3, se muestra un resumen de las tensiones armónicas medidas comparadas en términos relativos con respecto a los límites estipulados en la norma.

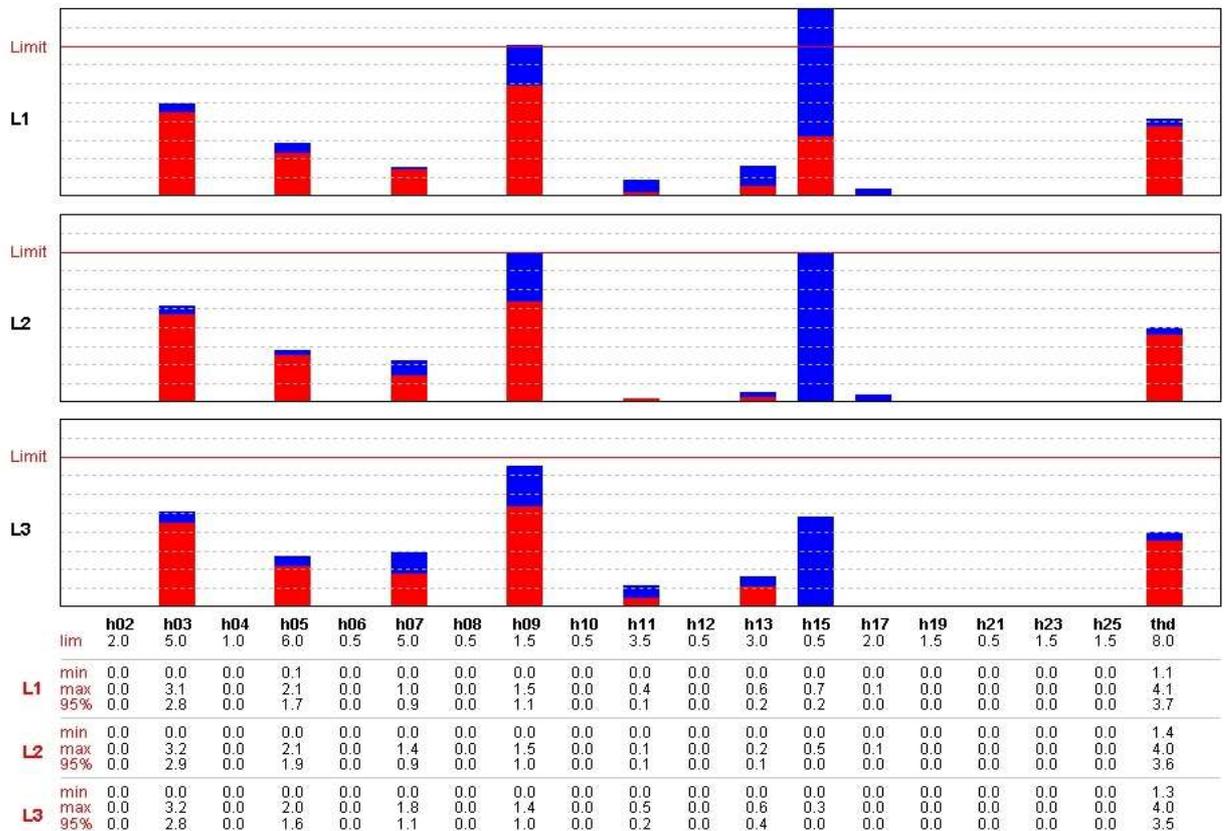


Figura 3. Evaluación del THD y de los niveles de contaminación armónica para 18 frecuencias armónicas diferentes. Los segmentos rojos corresponden al 95 % de las mediciones y los azules, al 5 % restante.

Dado que, en la Fig. 3, los valores se grafican en valores relativos, el límite ("*Limit*") se traza a un mismo nivel del 100 %. De esta manera, resulta más fácil identificar visualmente en cuáles frecuencias armónicas se puede estar comparativamente más cerca de superar los límites especificados.

Discusión y conclusiones

Con los resultados de esta medición, se puede concluir lo siguiente:

- De las armónicas pares medidas, no se observan tensiones de valores detectables, tal como se preveía.
- Las armónicas de tensión de orden impar y múltiplo de 3 alcanzan niveles relativamente importantes. Esto resulta razonable por realizarse la medición en un entorno urbano, con importante proporción de cargas monofásicas contaminantes, tales como artefactos de iluminación con balastos electrónicos, cargadores de baterías de equipos móviles, etc. Las corrientes de dichas cargas tienen importantes niveles de armónicas de orden impar y múltiplo de 3, que por ser de secuencia cero se suman en el conductor de neutro de una instalación trifásica y producen de esa manera tensiones importantes de las mismas frecuencias. Sin embargo, en este caso, ya para la armónica 21 no se observan niveles de distorsión detectables por el instrumento.
- Los niveles de distorsión armónica en las tres fases son muy similares entre sí, lo cual habla de una distribución similar en tipo y cantidad de cargas conectadas en las tres fases en la proximidad (eléctrica) del punto de medición. Por tratarse únicamente de mediciones de tensión, no puede aseverarse cuánto de la distorsión armónica se debe a la instalación medida, y cuánto a las instalaciones vecinas. Para este estudio, correspondería hacer una identificación de fuentes y sumideros de contaminación armónica, lo cual tendría sentido para la imputación de responsabilidades en la contaminación armónica de la red pero requeriría un estudio de profundidad y complejidad mayores.
- Los valores de distorsión armónica de las tensiones medidas y el THD están por debajo de los límites máximos admisibles especificados por la norma EN 50160, e inclusive por debajo de los admitidos por la reglamentación del ENRE, aplicable a nivel nacional.
- A grandes rasgos, se puede observar que los valores de THD varían de manera bastante proporcional a las variaciones que se registran en una curva de carga habitual para una red eléctrica urbana residencial.
- Se observa que el fin de semana se reduce notablemente el nivel de contaminación armónica en comparación con los demás días de la semana. Esto difiere de las conclusiones de [7], donde se muestran, aunque sin valor estadístico, mediciones similares de diversas instalaciones eléctricas residenciales europeas. En dicho artículo, se observa un nivel de distorsión muy similar los siete días de la semana, de hecho algo más elevado los fines de semana. Más allá de las muchas explicaciones que pueden esbozarse, debe tenerse en cuenta que la medición del trabajo aquí presentado se realizó puertas adentro de una instalación de escaso uso durante el fin de semana, de modo que es esperable que el consumo interno de la propia instalación (aguas arriba del punto de medición, pero debajo del punto de acoplamiento común) tenga una incidencia algo mayor en la variación de los valores de THD medidos.

Los resultados están restringidos a las condiciones de medición ya enumeradas, de las cuales se destaca que el instrumento no se instaló en el punto de acoplamiento común de la instalación. Sin embargo, es razonable esperar que los niveles de distorsión armónica en el punto de acoplamiento común sean aún menores que los medidos puertas adentro de la instalación.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer al personal del IPSEP (Instituto de Protecciones de Sistemas Eléctricos de Potencia) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC) por brindar material y asesoramiento para la realización de este trabajo.

Referencias

- [1] J. C. Gómez Targarona, *Calidad de Potencia: para usuarios y empresas eléctricas*, Buenos Aires (Argentina), Edigar, 2005
- [2] *Base metodológica para el control de la calidad del producto técnico*, Resolución ENRE (Ente Nacional Regulador de la Electricidad de Argentina) N° 184/2000
- [3] *Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución*, norma EN 50160:1999 (extractos tomados de [4] y [5])
- [4] *Modern Power Quality Measurement Techniques*, cód. 20-750-592, Metrel, Ljubljanska (Eslovenia), 2003
- [5] H. Markiewicz & A. Klajn, "Power Quality Application Guide. Voltage Disturbances. Standard EN 50160. Voltage Characteristics in Public Distribution Systems", Power Quality Application Guide, Vol. 5.4.2, Copper Development Association, July 2004
- [6] *IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*, IEEE SM 519, IEEE Industry Appl. Society/Power Engineering Society, April 1993
- [7] M. McGranaghan, A. Mansoor and C. Miller, "LFEIC Survey of Residential Harmonic Voltage Distortion Levels in Europe. Discussion of Survey Implications", CIRED 2003, Barcelona (Spain)