

## Índices de continuidad en redes de distribución y su mejora

A. Sumper<sup>1</sup>, A. Sudrià<sup>1</sup>, R. Ramirez<sup>1</sup>, R. Villafáfila<sup>1</sup>, Mircea Chindris<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro de Innovación Tecnológica en Convertidores Estáticos y Accionamientos  
CITCEA, Universidad Politécnica de Cataluña  
Av. Diagonal, 647. Pabellón A; 08028 Barcelona (Spain)  
Tlf:+34 93 401 67 27, fax:+34 93 401 74 33,  
e-mail: sumper@citcea.upc.edu

<sup>2</sup> Electrical Power System Department  
Technical University of Cluj-Napoca  
Cluj-Napoca, Romania,  
E-mail: Mircea.Chindris@eps.utcluj.ro

### Resumen

Este trabajo introduce un concepto nuevo de la calidad de suministro percibida por el cliente y su relación entre ésta y la continuidad de suministro. Después, entra en la definición de los indicadores de la continuidad de suministro. Se expone una comparativa de índices de continuidad a nivel europeo y presenta los factores de influencia, de los cuales se distingue entre los factores intrínsecos y heredados. Al final se presentan las medidas para aumentar la fiabilidad de las redes de distribución.

### Palabras clave

Calidad de suministro, Continuidad de suministro, Redes eléctricas de distribución, Calidad de suministro percibida

### 1. Calidad percibida del suministro

Desde la liberalización de los mercados eléctricos, la electricidad ha pasado de ser un servicio a convertirse en un producto. De este modo el producto electricidad, como cualquier otro producto, tiene que superar unos mínimos criterios de calidad en pro de garantizar la satisfacción al cliente.

El suministro eléctrico tiene como objetivo proporcionar energía a aparatos que prestan al usuario un servicio. La calidad percibida del suministro eléctrico es detectada por el usuario por la falta de los servicios que prestan los aparatos eléctricos. Por otro lado, la percepción de una interrupción depende del tipo del cliente (industrial o doméstico) y de la hora de la interrupción. Entonces, la calidad percibida por el cliente depende de la falta o del

no funcionamiento de los servicios esperados de sus aparatos eléctricos. Esto nos lleva a la conclusión que la calidad de servicio depende de múltiples factores, empezando por la generación de la energía eléctrica hasta la utilización final de la energía eléctrica a nivel doméstico o industrial.

En general las dos principales partes implicadas en la calidad del suministro son, por un lado la *compañía eléctrica*, con el conjunto de la generación, el transporte y la distribución de la energía eléctrica, y por el otro lado el *cliente* o consumidor final.

Desde el punto de vista de la compañía eléctrica, la calidad se divide en tres principales componentes:

- *Calidad comercial de la compañía eléctrica*: La calidad comercial engloba la calidad del servicio al cliente, en relación con las diversas transacciones entre cliente y compañía. En este punto podemos diferenciar las transacciones que se realizan antes de establecer el suministro, por ej. el acceso a la red, las conexiones, la potencia que se desea contratar, la instalación del contador, etc. y posteriormente están las transacciones que se generan durante el contrato de suministro como son: la facturación, atención al cliente, lectura de los contadores, etc.
- *Continuidad del suministro*: La continuidad del suministro está cuantificada por el número y la duración de interrupciones del suministro.
- *Calidad de la onda eléctrica*: La calidad de la onda eléctrica se cuantifica por los valores que representan las características técnicas de la alimentación que deben estar en unos límites establecidos. Estos límites se encuentran

definidos en la normativa europea EN 50160 con el título “Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución”

Desde el punto de vista del cliente se encuentran los factores:

- *Fiabilidad de la instalación eléctrica del cliente:* Este es un factor bastante importante, pues de ello depende la fiabilidad total del sistema. La responsabilidad de la distribuidora acaba justo en el punto de acoplamiento común. La fiabilidad de la instalación del cliente puede disminuir debido a la configuración de la instalación eléctrica (componentes que fallan, conexiones incorrectas, maniobras del cliente, etc.) o puede aumentar debido a la redundancia de la instalación, o equipos de alimentación alternativa (SAI) etc.
- *Nivel de la compatibilidad de los aparatos y las máquinas del cliente:* Todos los aparatos eléctricos o máquinas eléctricas instaladas, deben estar insensibilizados ante perturbaciones procedentes de la red y/o tener un cierto nivel de compatibilidad ante dichas perturbaciones. Dicho nivel de compatibilidad depende en muchos casos del diseño y de la robustez del circuito eléctrico del aparato. Por lo tanto, puede haber diferencias importantes en el nivel de compatibilidad entre los diferentes fabricantes para un tipo de aparato. Existen recomendaciones y normas europeas de compatibilidad electromagnéticas para los diferentes productos.

Cabe destacar que la calidad de onda es el resultado de la interacción entre red eléctrica y carga; por lo tanto depende de ambas.

## 2. Índices de continuidad

### A. Clasificación según UNPEDE

En el año 1997 la Union Internationale des Producteurs et Distributeurs d’Energie Electrique (Unipede) ha elaborado en el grupo de trabajo DISQUAL recomendaciones en la metodología de evaluar índices de continuidad, con el fin de unificar los criterios de evaluación. A continuación se presentan los resultados de este grupo de trabajo. [1]

Respecto a los efectos de la interrupción del suministro en los consumidores, la fiabilidad de suministro se divide en tres categorías:

- la *frecuencia de la interrupción* media en un año por consumidor, que representa el número de ocasiones al año que ha fallado el suministro por consumidor
- la *indisponibilidad del suministro* eléctrico, que representa el computo total de las duraciones de interrupciones a largo de un año por consumidor

- la *duración de la interrupción*, que representa la duración media de una interrupción

Las interrupciones se clasifican según su origen

- *interrupciones programadas* que son necesarias para realizar trabajos de mantenimiento y mejora de las redes de distribución. Los clientes tienen que ser informados con antelación de una interrupción programada, con el procedimiento establecido por la norma. En el caso contrario, se considera la interrupción programada como una interrupción imprevista.
- *interrupciones imprevistas*, que son causadas por faltas permanentes, o transitorias, mayormente originadas por eventos externos, fallos de equipos, fallos humanos etc.

Las *interrupciones imprevistas* se distinguen de la siguiente manera:

- interrupciones de larga duración con una duración superior de 3 minutos.
- interrupciones de corta duración con una duración de igual o menor de 3 minutos, mayormente causadas por las maniobras automáticas o manuales de reposición después de un fallo.

### Metodología para el cálculo de los índices

Existen tres métodos de calcular los índices que cuantifican la continuidad de suministro.

- los efectos de la interrupción están relacionados con el *número de consumidores* interrumpidos
- los efectos de la interrupción están relacionados con la *potencia interrumpida* (instalada o declarada)
- los efectos de la interrupción están relacionados con *el número de subestaciones o transformadores interrumpidos*.

A pesar de que los métodos de cálculo de los índices de continuidad tienen tres conceptos diferentes, el mismo informe de la UNPEDE declara que los índices son comparables y se encuentran en el mismo orden de magnitud. En la siguiente tabla se puede ver los valores obtenidos por el cálculo de los índices usando las diferentes metodologías [1].

	Método basado en		
	Clientes	Potencia	Transformadores
Frecuencia de interrupción	1,5	1,38	1,5
Indisponibilidad	0,51	0,44	0,51
Duración de la interrupción	0,34	0,32	0,34

TABLA I. – Comparativa entre metodologías de cálculo de índices de continuidad

Se puede observar que los métodos basados en clientes y en el número de transformadores son bastante comparables. El método basado en potencia muestra una valoración por debajo del nivel de los índices basados en

clientes con un 8% un 6% y un 14% en la frecuencia de interrupción, indisponibilidad y la duración de la interrupción, respectivamente.

### B. IEEE Trial-Use Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices

El Trial-Use Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices [2] define la terminología respecto a los índices de continuidad y la cuantificación de la fiabilidad de los sistemas eléctricos de potencia.

Los conceptos son principalmente los mismos que los de la UNIPED, con la diferencia de la definición de la interrupción de larga duración, que se define *a partir de 5 minutos*. Los índices más utilizados y conocidos son SAIFI, SAIDI y CAIDI, que son equivalentes a la frecuencia de interrupción, la indisponibilidad y la duración de interrupción basados en clientes según la UNIPED.

### C. Bases legales de la continuidad de suministro eléctrico en España

El procedimiento de medida y control de la continuidad del suministro eléctrico está definido en [3] y [4].

El objeto de este procedimiento es proponer los criterios y la metodología a seguir para la recogida y tratamiento de los datos de la continuidad del suministro, incluyendo los datos necesarios para la elaboración de los índices de calidad zonal:

- *TIEPI*: Es el tiempo de interrupción equivalente de la potencia instalada en MT.
- *Percentil 80 del TIEPI*: Es el valor del TIEPI que no es superado por el 80 por 100 de los municipios del ámbito provincial, dentro de cada tipo de zona.
- *NIEPI*: Es el número de interrupciones equivalente de la potencia instalada en MT.

La clasificación de zonas, establecida en el Real Decreto 1955/2000 a efectos de calidad de suministro, es la siguiente:

- *Zona Urbana*: Conjunto de municipios de una provincia con más de 20.000 suministros, incluyendo capitales de provincia, aunque no lleguen a la cifra anterior.
- *Zona Semiurbana*: Conjunto de municipios de una provincia con un número de suministros comprendido entre 2.000 y 20.000, excluyendo capitales de provincia
- *Zona Rural Concentrada*: Conjunto de municipios de una provincia con un número de suministros comprendido entre 200 y 2.000.
- *Zona Rural Dispersa*: Conjunto de municipios de un provincia con menos de 200 suministros así como los suministros ubicados fuera de los núcleos de población que no sean polígonos industriales o residenciales.

La siguiente tabla muestra los índices de continuidad más usados internacionalmente.

Basado en	País	Frecuencia de interrupción	Indisponibilidad	Duración de la interrupción
Nº de consumidores	IEEE	SAIFI	SAIDI	CAIDI
	UK	Customer Interruptions (CI)	Customer Minutes Lost (CML)	-
Potencia	IEEE	ASIFI	ASIDI	-
	España, Portugal	TIEPI	NIEPI	-

TABLA II. – Índices de continuidad más usados internacionalmente

### 3. Continuidad de suministro en Europa

En el ámbito europeo cada país aplica sus propios criterios de evaluación de los índices de continuidad. Existen países, donde el cálculo de los índices hasta ahora no se ha realizado de forma sistemática (Suiza), en otros, la participación de las compañías en el cálculo no es obligatorio (Finlandia), y en terceros deberán existir sistemas de cálculo auditables por externos (Italia, España). Respecto al cálculo, hay diferencias según la base de los índices (clientes, potencia o número de transformadores), el nivel de la tensión, la clasificación según la causa y la zona del suministro. La mayoría de los países distinguen entre interrupciones imprevistas y programadas.

Para poder efectuar comparaciones entre distintos países y zonas es necesario que los índices sean elaborados con los mismos criterios y bajo el control de instituciones no dependientes exclusivamente de las empresas eléctricas. De hecho, actualmente en varios países se consideran los índices de continuidad como datos confidenciales por parte de las empresas y reguladores, aunque existe la tendencia general de publicarlos.

Tabla III compara los valores medios nacionales de la frecuencia de interrupción e indisponibilidad [5], [6] de varios países europeos, mientras Figura 1 muestra los resultados de forma gráfica.

País	Frecuencia de interrupción [1/a]	Indisponibilidad [min/a]
Austria	0,59	35,23
Bélgica	0,90	42,25
Finlandia	4,06	182,67
Francia	1,21	53,33
Alemania	0,27	37,00
Gran Bretaña	0,77	70,09
Irlanda	1,34	235,67
Italia	3,83	202,85
Noruega	2,73	218,00
España	2,98	153,00
Suecia	2,07	99,00
Países Bajos	0,38	27,50

TABLA III. – Comparativa de la continuidad de suministro en varios países europeos, Datos promedios de 1996-2002

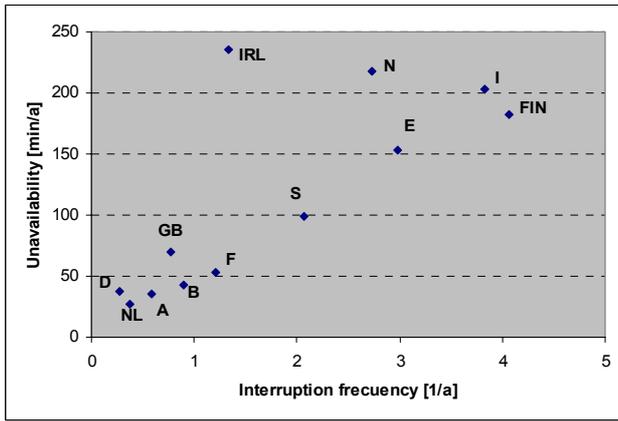


Fig. 1. Indisponibilidad vs. Frecuencia de interrupción en varios países europeos, Datos promedios de 1996-2002.

#### 4. Factores de influencia a los índices de continuidad

En general, se puede decir que los índices de continuidad tienen una gran dispersión entre regiones y países. Se ha demostrado [7] que también en redes muy parecidas puede aparecer valores de índices con diferencias importantes. Se ha determinado factores de influencia y clasificado estos factores de influencia en dos grupos [8]:

- *Factores históricos o heredados.* Estos factores se derivan del diseño actual de la red. Debido al largo periodo de amortización de las redes de distribución, muchas decisiones sobre el diseño de la red se tomaron en el pasado en un marco regulado con diferentes criterios de diseño. Cualquier cambio en el diseño de la red implica unas fuertes inversiones, por ejemplo cambiar la tensión de la red de distribución.
- *Factores intrínsecos o inherentes.* Estos factores son producto de las características demográficas y geográficas de la zona donde se encuentra la red de distribución.

##### A. Factores históricos

Los factores históricos se derivan de las características de la red de distribución fruto del diseño y la configuración de la red. El diseño de la red engloba los siguientes factores:

- Tensión de la red
- Trazado de la red
- Grado de soterramiento
- Interconexiones entre líneas colindantes
- Protecciones de la red
- Automatización y monitorización de la red

Los factores históricos que influyen en los índices de continuidad están presentes en decisiones tomadas sobre la red a lo largo de su historia. Aspectos en el diseño de la red que afectan sus índices son por ejemplo criterios tecnológicos en el año de la construcción de las líneas o subestaciones, los factores geográficos, decisiones políticas, decisiones económicas de la empresa etc. Todas estas decisiones que se toman en el pasado pueden llevar

a que dos compañías posean redes con distintos niveles tecnológicos con características diferentes y niveles de continuidad de suministro distintos.

##### B. Factores intrínsecos

Los factores intrínsecos o inherentes son los que relacionan las diferencias geográficas y demográficas con las diferentes zonas de suministro. De hecho, estos factores son propios de la zona de suministro y la posibilidad de corregirlos es limitada.

Los factores intrínsecos más importantes son los siguientes:

- Descargas atmosféricas
- Contaminación salina e industrial
- Factores climáticos
- Fauna y flora (animales, árboles)
- Densidad de la población

Figura 2 muestra un ejemplo de influencia de un factor intrínseco. En esta gráfica se puede ver la curva monótona del TIEPI (línea roja) y la de los rayos caídos (línea azul) en una Comunidad Autónoma en el año 2002. Se puede ver claramente que existe una correlación entre los días con más actividad atmosférica y con los días con más aportación al TIEPI.

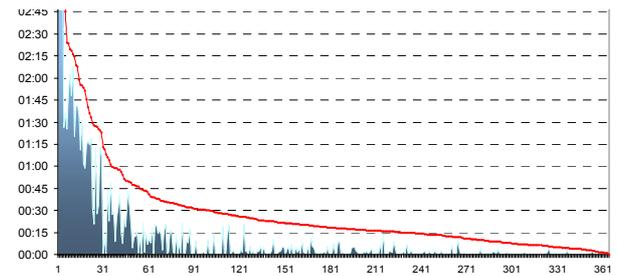


Fig. 2. Correlación entre TIEPI y rayos caídos en una Comunidad Autónoma.

La figura 3 muestra la correlación entre el TIEPI y el número de usuarios en varias provincias españolas. Se observa una clara tendencia que en provincias con menos usuarios se puede esperar un valor de TIEPI mayor, ya que en las provincias con menos usuarios la proporción de redes rurales es mayor.

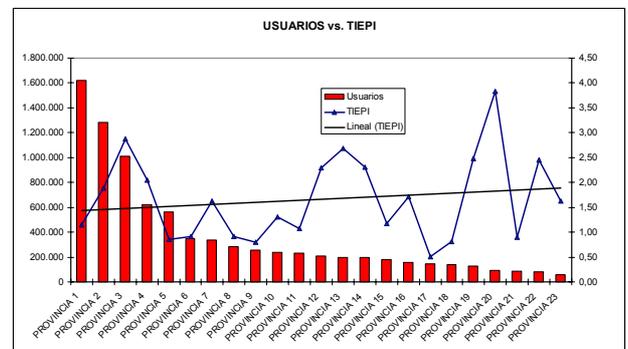


Fig. 3. Correlación entre TIEPI y número de usuarios en varias provincias españolas.

La figura 4 muestra la correlación entre TIEPI y longitud de líneas en MT de varias provincias españolas. No se puede demostrar claramente la dependencia del TIEPI con la longitud en MT. Sin embargo, se debería considerar también el grado de seccionamiento y automatización, la tensión nominal de la red y la longitud media de las líneas (*feeders*). Como regla general, se puede considerar que con *feeders* más largos se puede observar índices más elevados.

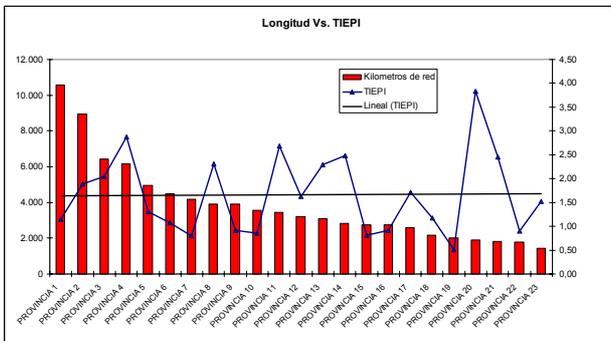


Fig. 4. Correlación entre TIEPI y longitud de líneas en MT de varias provincias españolas.

Finalmente, cabe señalar que los índices de continuidad no son del todo comparables entre regiones, países o compañías eléctricas, aunque se hayan elaborado bajo los mismos criterios. Existe una tendencia de introducir un mecanismo de regulación de la calidad de suministro a través de incentivo y penalización para estimular compañía eléctricas invertir en redes más fiables. En este caso, los reguladores deberían considerar los factores influencia en el cálculo de incentivos [8].

## 5. Medidas de mejora de la fiabilidad de los redes

Las medidas de mejora de la fiabilidad de redes eléctricas de distribución se pueden resumir en tres grupos:

- la reducción de la tasa de fallos
- la reducción del tiempo de afectación
- la reducción de número de clientes afectados

### A. Reducción de la tasa de fallos

La reducción de la frecuencia de las interrupciones se puede conseguir a través del aumento de la fiabilidad del sistema y sus componentes. Dichas medidas aumentan la fiabilidad, reduciendo la tasa de fallos y en consecuencia reduciendo todos los índices de continuidad en global (SAIFI, SAIDI, TIEPI etc.) de la zona. Las medidas a tomar en las instalaciones para reducir la tasa de fallos pueden ser las siguientes:

- Mantenimiento preventivo y monitorización
- Reposición preventiva de componentes que han alcanzado su vida útil
- Cables aislados o semiaislados en líneas aéreas
- Recorte de la vegetación cerca y debajo de las líneas aéreas
- Protecciones contra la invasión de animales en instalaciones

### B. La reducción del tiempo de afectación

El tiempo de afectación representa principalmente el tiempo necesario para reestablecer el suministro en la zona afectada por la interrupción. Debido a la configuración de la red, la zona afectada por la falta producida se puede aislar de la parte sana, desconectando la sección de la red que englobe esta zona. Es importante realizar el procedimiento adecuado de maniobra que permita aislar la mínima sección afectada posible. Esta medida no reduce el tiempo de afectación de la sección afectada, pero introduce una mejora substancial en tiempo para las partes de la red no afectadas directamente por la falta, sobre todo, si la operación de la reconfiguración de la red está automatizada. Además, si la reconfiguración se produce en un tiempo menor de tres minutos, la interrupción experimentada por el cliente no se considera una interrupción de larga duración. Estas medidas afectan principalmente a los índices que dependen del tiempo de afectación como SAIDI, TIEPI y CAIDI.

Dicha reducción se puede conseguir actuando sobre las siguientes medidas:

- Automatización de las redes
- Reconfiguración del sistema tras el fallo
- Sistema de localización de fallos
- Reducción del tiempo de respuesta

### C. La reducción de número de clientes afectados

Por último, con la reducción de número de clientes o potencia interrumpida por cada falta se puede conseguir la disminución de todo tipo de índices (SAIFI, SAIDI, TIEPI etc.) de la zona y a través de las siguientes medidas:

- reconfiguración permanente de la red
- más elementos de protección
- régimen de puesta a tierra del neutro resonante

Una forma muy eficiente de mejorar los índices de continuidad es la reducción del número de clientes por cada línea, ya que ante una falta en la línea, la interrupción afecta a un número menor de clientes. Si se combina esta medida con una reducción de la longitud de las líneas se puede conseguir una tasa de fallos menor por línea. Las dos medidas se pueden conseguir al aumentar el número de líneas por subestación y aumentar la densidad de subestaciones de AT/MT en una zona.

## 6. Conclusión

Los índices de continuidad más importantes son: la frecuencia de interrupción, que indica cuantas veces un cliente ha sido interrumpido durante un año; la indisponibilidad de la red, que indica el tiempo total de interrupción para un cliente durante un año; y la duración de la interrupción, que es la duración media de una interrupción en el mismo año. El cálculo de los índices puede ser realizado por tres metodologías diferentes: índices basados en clientes, en potencia y en número de transformadores.

Las diferentes metodologías pueden influir en el valor absoluto de los índices, también algunos factores son determinantes, como por ejemplo el diseño de la red, tipo del consumo, etc.

En el ámbito europeo cada país aplica sus propios criterios de evaluación de los índices de continuidad, hay diferencias en el cálculo según la base de los índices (clientes, potencia o número de transformadores), el nivel de la tensión, la clasificación según la causa y la zona del suministro. La mayoría de los países distinguen entre interrupciones imprevistas y programadas.

Otro objetivo importante de este artículo es la evaluación de los factores que influyen en la calidad de suministro y por lo tanto en los índices de continuidad. Se ha encontrado dos grupos de factores influyentes que puedan variar los índices de continuidad: los factores intrínsecos y los factores históricos.

Los factores intrínsecos son factores propios de la zona de distribución, donde se encuentra la red de distribución. Los factores históricos (o heredados) proceden de los criterios en el diseño de la red aplicados durante la historia de la empresa distribuidora.

Distintas empresas distribuidoras pueden tener índices de continuidad diferentes según la severidad de la influencia de los factores intrínsecos y factores históricos en las zonas de suministro. Una comparación directa de índices de continuidad entre compañías distribuidoras puede darnos un resultado distorsionado, se aconseja también tener en cuenta estos factores de influencia.

Para disminuir el impacto de los factores de los índices de continuidad, las compañías distribuidoras pueden emplear medidas de mejora, que se puede clasificar en tres grupos: la reducción de la tasa de fallos de línea o aparataje, la reducción del tiempo de afectación y la reducción de número de clientes afectados.

## Agradecimientos

Agradecemos el soporte económico y técnico de ENDESA RED en el marco de la Cátedra ENDESA RED UPC que ha hecho posible el proyecto de investigación sobre la fiabilidad de redes de distribución.

## Referencias

- [1] UNIPED, Distribution Study Committee, 50.05.DISQUAL, July 1997, Ref. 05005REN9733, pp4-5
- [2] IEEE Power Engineering Society, IEEE Trial-Use Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices, April 1999, New York, pp 3-7
- [3] Boletín Oficial del Estado, ORDEN ECO/797/2002, de 22 de marzo, por la que se aprueba el procedimiento de medida y control de la continuidad de suministro eléctrico, pp14170-14171
- [4] Boletín Oficial del Estado, Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- [5] Council of European Energy Regulators (CEER), Working Group on Quality of Electricity Supply, SECOND BENCHMARKING REPORT ON QUALITY OF ELECTRICITY SUPPLY, pp24-25
- [6] A. Sumper, A. Sudrià; Estudio comparativo de la calidad de suministro eléctrico en diversas regiones de la Unión Europea, CITCEA-UPC, Research Study, February 2004, pp 41-42
- [7] OFGEM, Information and incentive program, Comparing quality of supply performance, October 2002, pp12-13
- [8] V. Roberts and D. Russell, "Benchmarking the Performance of Distribution Networks", CIRED Conference 2003, Session2, No 67