

Calidad de la Energía Eléctrica

Manuel Pérez Donación

Universidad de Vigo



CAPÍTULO 1

Calidad de la Energía Eléctrica. Introducción

1.1. Calidad de la energía Eléctrica

La calidad de la energía eléctrica, se puede definir por el conjunto de propiedades inherentes al suministro eléctrico o, según el artículo 99 del RD1955/2000, por el conjunto de características, técnicas y comerciales, inherentes al suministro eléctrico exigibles por los sujetos, consumidores y por los órganos competentes de la administración.

Básicamente, la calidad de la energía eléctrica se puede establecer en base a las características de:

1. Continuidad del suministro
2. Calidad del producto (calidad de onda)
3. Atención y relación con el cliente

Así pues, en la evaluación de la calidad de potencia se han de tener en cuenta los siguientes aspectos:

- **La continuidad del suministro.** Relativa al número y duración de las interrupciones del suministro a la distribución y a los consumidores directamente conectados
- **Calidad de producto,** relativa a las características de la onda de tensión
- **Atención y relación con el cliente:** asesoramiento, contratación, comunicación, reclamación

Por otra parte, es preciso tener en cuenta que todos los consumidores tendrán derecho al suministro de energía eléctrica en las condiciones de calidad y seguridad que reglamentariamente se establezcan y será obligación de las empresas distribuidoras prestar el servicio de distribución de forma regular y continua, y con los niveles de calidad que se determinen.

1.2. Calidad de la onda de tensión

La energía eléctrica (electricidad), llega a cada usuario a través de un sistema que comprende: GENERACIÓN, TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN. Cada uno de estos componentes está sujeto a daños debidos a fallos eléctricos, mecánicos o químicos, además de los rigores climatológicos, desgastes por la edad, tormentas, interferencias por actividades humanas, etc. Todo ello puede afectar e incluso interrumpir el suministro a uno o muchos usuarios.

En estos sistemas, pueden surgir problemas de desadaptación por causa de la relación generación/carga sujeta a cambios en las magnitudes de la generación y el consumo, lo cual puede afectar a la frecuencia.

Existen otras características que pueden tener efectos perturbadores en los equipos de los usuarios, las cuales pueden provenir de eventos transitorios impredecibles en el sistema, (fallos de conexión, faltas, fenómenos atmosféricos, etc). O bien ser el resultado de diversos usos de la electricidad que alteran directamente la FORMA DE ONDA, como pueden ser equipos que demandan carga no lineal (electrónicos) que producen estos efectos.

Lo que se denomina como “RED DE ALIMENTACIÓN”o simplemente “RED”, es la fuente de alimentación más comúnmente utilizada por la mayor parte de receptores. Los parámetros ideales de dicha red son:

- a) Fuente de tensión sinusoidal
- b) Valor de tensión constante en todos los puntos
- c) Frecuencia constante

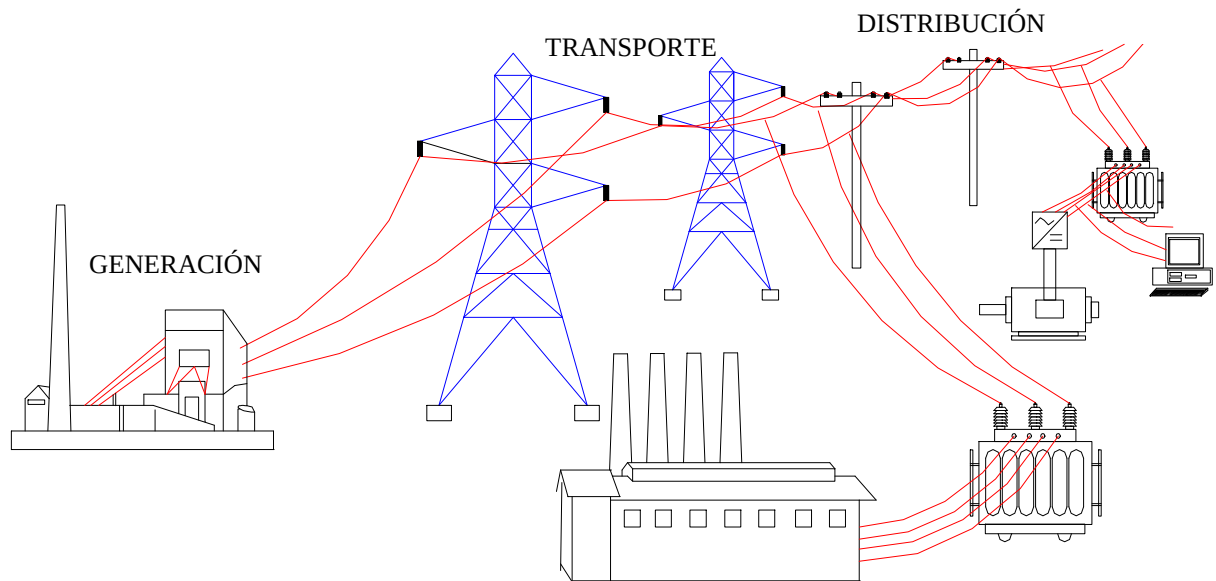


Figura 1.1. Esquema general del sistema eléctrico

En la práctica, estas condiciones no suelen cumplirse, ya que los propios generadores y la red de distribución presentan una cierta impedancia interna y otras no linealidades que ocasionan desviaciones con respecto al comportamiento ideal.

Así pues, se aceptan como normales ciertas desviaciones en el valor eficaz de la tensión y en la frecuencia, y se han establecido normas que marcan los límites tolerados para dichas desviaciones.

El valor eficaz de la tensión y la frecuencia no definen totalmente la “CALIDAD” de una red, puesto que no indican nada acerca de la forma de onda o de su posible DISTORSIÓN con respecto al teórico valor senoidal. Dicha distorsión se mide, por lo general, por el contenido de ARMÓNICOS, cuyo origen suele encontrarse en algunos receptores que absorben corriente no senoidales. El fuerte incremento, tanto en número como en potencia, de los receptores que generan distorsión hace que actualmente se haya convertido en un tema de preocupación para compañías eléctricas, usuarios, fabricantes de equipos, universidades y autoridades responsables de la NORMALIZACIÓN.

Cuando un equipo “sensible” está alimentado por una fuente de energía, que a su vez alimenta a varios equipos (red de distribución), las PERTURBACIONES generadas por los equipos de “potencia” (motores, hornos,...) se transmiten por las líneas de alimentación comunes.

Existe otro tipo de acoplamiento por conducción en los circuitos de masa y de tierra. En efecto, todos los conductores de masa electrónica (tarjeta...) están conectados a la masa y a la tierra de la instalación a través de “conductores” eléctricos de impedancia “Z” no nula.

Como consecuencia, se produce una diferencia de potencial entre la tierra y las masas y, también, entre las propias masas. Estas diferencias de potencial provocan la circulación de corrientes perturbadoras por los diferentes circuitos. También pueden producirse acoplamientos por radiación que afecten a los equipos.

Hasta no hace mucho tiempo los TRANSFORMADORES, debido a la forma de onda distorsionada que presenta su corriente de vacío, eran los únicos elementos que introducían ARMÓNICOS en las redes eléctricas. Sin embargo, en la actualidad, y debido a la proliferación de elementos estáticos de control (SEMICONDUCTORES DE POTENCIA), con características tensión-corriente no lineales, hace que la situación haya cambiado sustancialmente volviéndose altamente preocupante y, hoy día, nuestras redes eléctricas se encuentran altamente POLUCIONADAS. Ante esta situación, es preciso establecer NORMATIVAS y, sobre todo, aportar SOLUCIONES.

1.3. Perturbación electromagnética

Una perturbación electromagnética se define como cualquier fenómeno electromagnético que puede degradar el funcionamiento de un dispositivo, equipo o sistema (*).

La perturbación electromagnética puede ser un ruido electromagnético, una señal no deseada o una modificación del propio medio de propagación.

Como su nombre indica, la perturbación electromagnética se compone de un campo eléctrico $\underline{E}$, generado por una diferencia de potencial, y de un campo magnético $\underline{H}$, que tiene su origen en la circulación de una corriente I por un conductor.

La perturbación electromagnética “parásita” no es más que una señal eléctrica no deseada que se suma a la señal útil. Esta señal se propaga por conducción, a través de los conductores, y por radiación a través del aire...

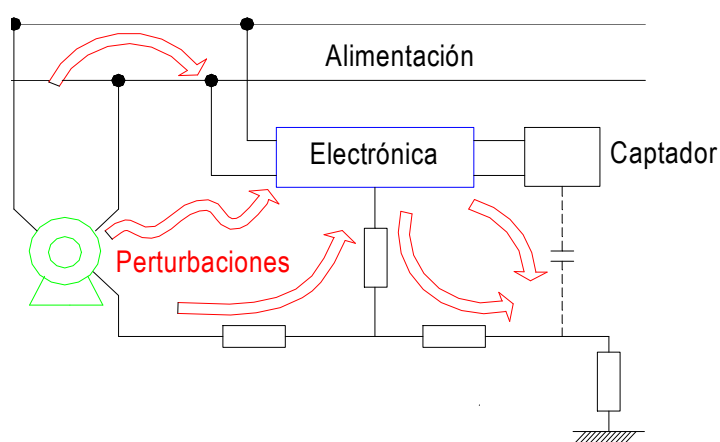


Figura 1.2. Perturbaciones en la red

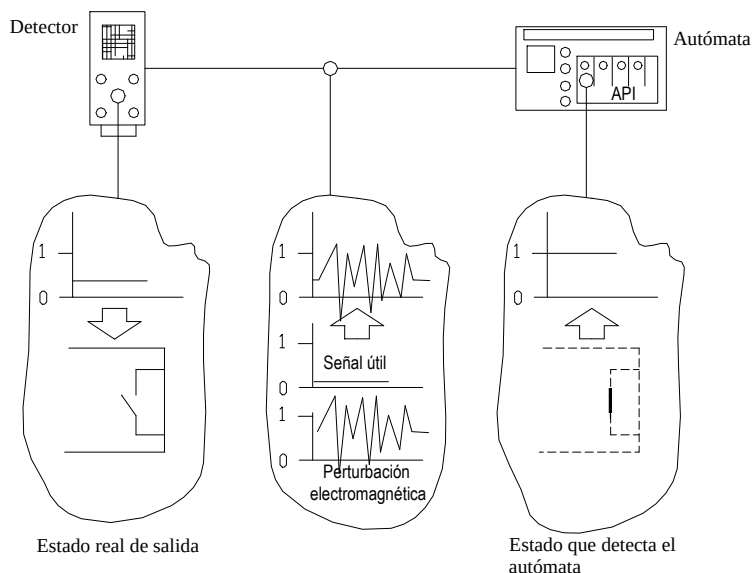


Figura 1.3.- Ejemplo de Sistema

(*) Definición de sistema

Llamamos sistema a un conjunto de equipos (accionadores, motores, captadores, ..) que contribuyen a la realización de una función determinada. Es necesario indicar que, desde el punto de vista electromagnético, el sistema comprende todos los elementos que interactúan, incluidos los dispositivos de desacoplamiento de la red. Las alimentaciones eléctricas, las conexiones entre los diferentes equipos, los dispositivos asociados y sus alimentaciones eléctricas, forman parte del sistema.

1.3.1. Clasificación de las perturbaciones electromagnéticas en función de la frecuencia

Teniendo en cuenta la frecuencia, las perturbaciones electromagnéticas pueden ser de baja frecuencia (BF) y de alta frecuencia (AF).

Para las perturbaciones de baja frecuencia, las cuales, por definición, tienen una duración larga (al menos algunas decenas de microsegundos), se establece convencionalmente el límite de 1 MHz (algunos autores consideran hasta 5 MHz). Los fenómenos de frecuencias inferiores a 1 MHz, se pueden estudiar utilizando esquemas eléctricos equivalentes simples. Para estas frecuencias, los aislamientos galvánicos son de buena eficacia y en los cables la corriente se puede considerar constante. Una de las grandes ventajas de las perturbaciones de BF es que se pueden medir utilizando medios convencionales adecuados.

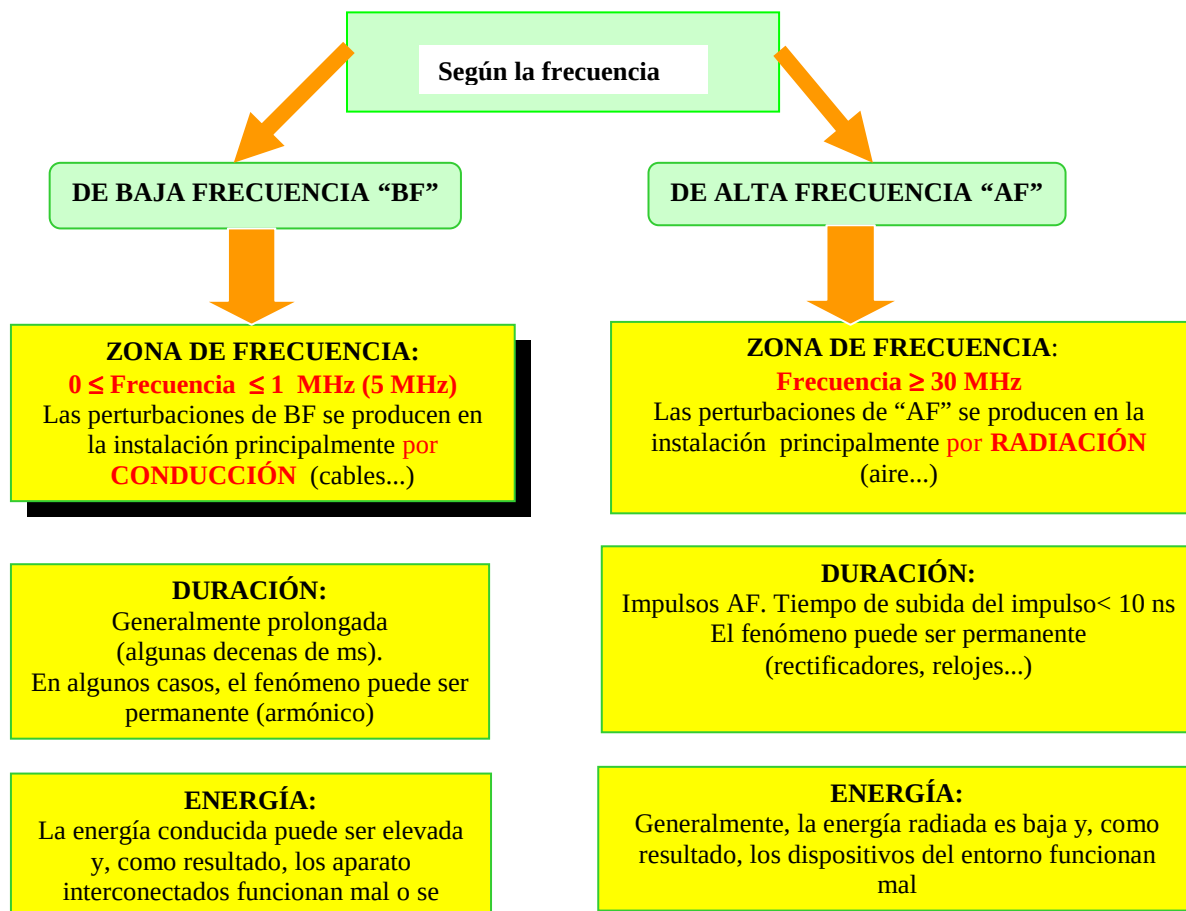


Figura 1.4. Clasificación de las perturbaciones electromagnéticas según la frecuencia

1.3.2. Clasificación de las perturbaciones electromagnéticas según la forma de transmisión

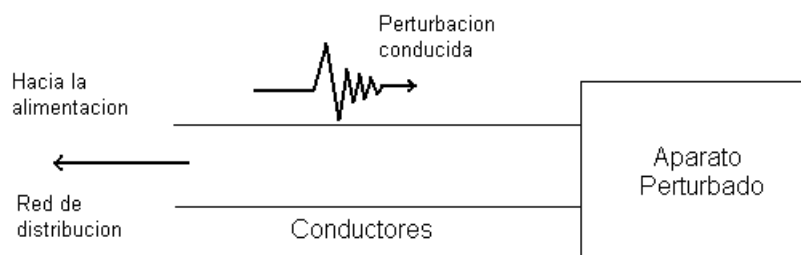


Figura 1.5. Esquema de perturbación conducida

Según la forma en que se transmiten, las perturbaciones pueden ser conducidas o radiadas.

- **Las perturbaciones conducidas**, se transmiten a través de los “conductores” eléctricos. Por lo tanto, se pueden transmitir por: líneas de alimentación internas o red de distribución, cables de control, cables de transmisión de datos, bus, cables de masas, tierra, capacidades parásitas, etc.

Por una conexión bifilar (2 hilos), una señal (útil o parásita), se puede transmitir de dos formas:

- **Modo diferencial:** la corriente de modo diferencial (o modo serie) se propaga por uno de los conductores, pasa a través del aparato provocando, o no, un fallo en su funcionamiento y regresa por otro conductor.

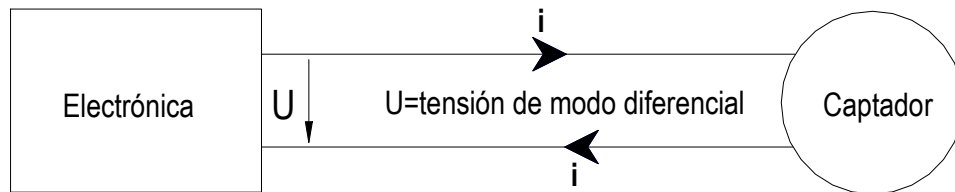


Figura 1.6. Modo diferencial.

- **Modo común:** La corriente de modo común se propaga por todos los conductores en el mismo sentido y regresa a través de las capacidades parásitas. Las perturbaciones de modo común representan el principal problema de la “CEM” ya que su trayectoria de propagación es difícil de identificar.

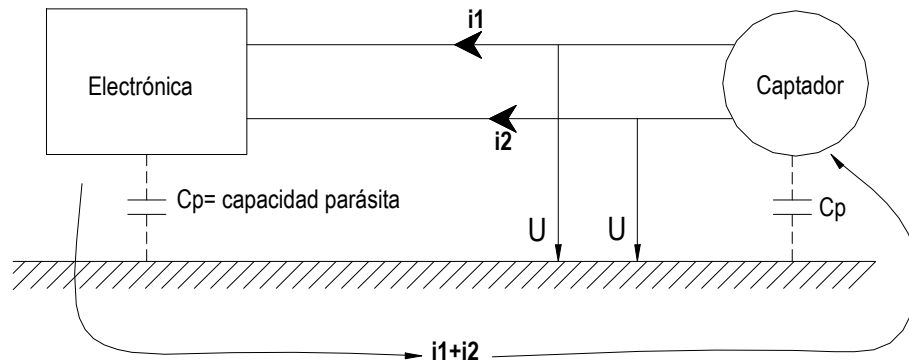


Figura 1.7. Modo común.

- **Las perturbaciones radiadas** se transmiten por el medio ambiente, es decir por el aire.

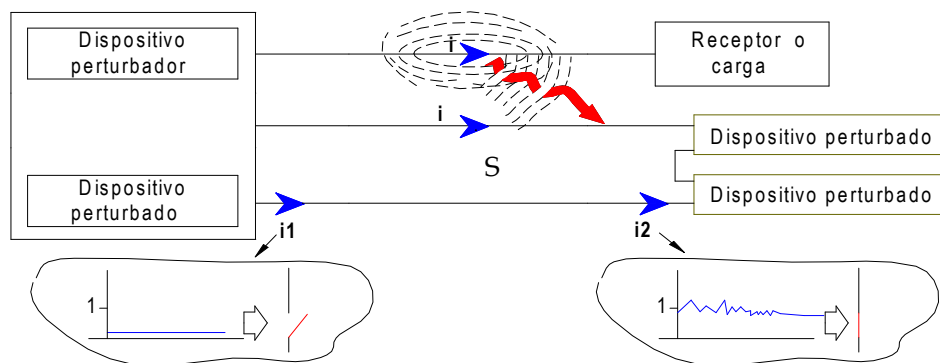


Figura 1.8. Perturbación radiada.

Una perturbación puede ser, a la vez, conducida y radiada, como ocurre en el caso del rayo.

Según la naturaleza de la perturbación emitida, los acoplamientos pueden ser de dos tipos, inductivos o capacitivos:

- **Acoplamiento inductivo:** La corriente “I” que circula por un conductor eléctrico genera un campo magnético que irradia alrededor del conductor. Es evidente que la corriente circulante debe ser elevada. Principalmente la generan los circuitos de potencia (que conducen corrientes elevadas) > 10 A. Siempre que un conductor eléctrico forma un bucle de superficie S bañado en un campo magnético variable aparece una tensión U alternativa en sus bornas.

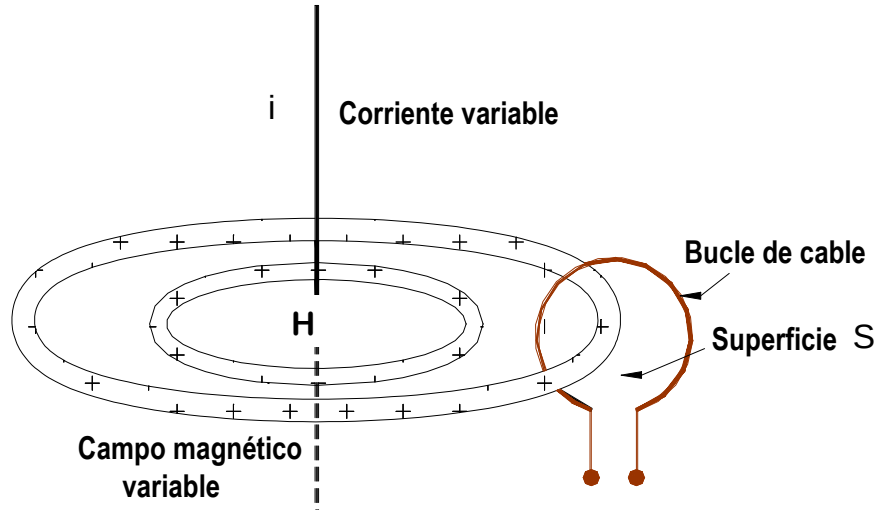


Figura 1.9. Acoplamiento inductivo.

- **Acoplamiento capacitivo:** Siempre existe una capacidad no nula entre un circuito eléctrico (cable, componente) y otro circuito cercano (conductor, masa). Cualquier diferencia de potencial variable entre estos dos circuitos genera una corriente eléctrica que circula de uno hacia otro a través del aislante (el aire), formando un condensador llamado “capacidad parásita”. La capacidad parásita aumenta con la frecuencia de la tensión en las bornas de la capacidad parásita.

$$I = (U/Z)$$

$$Z = (1/C\omega)$$

$$I = U \cdot C \cdot 2 \cdot \pi \cdot f = k \cdot f$$

El valor de la capacidad parásita formada por las dos partes del circuito es:

- Proporcional a la superficie “S” que forman los dos circuitos.
- Inversamente proporcional a la distancia “d” entre los dos circuitos.

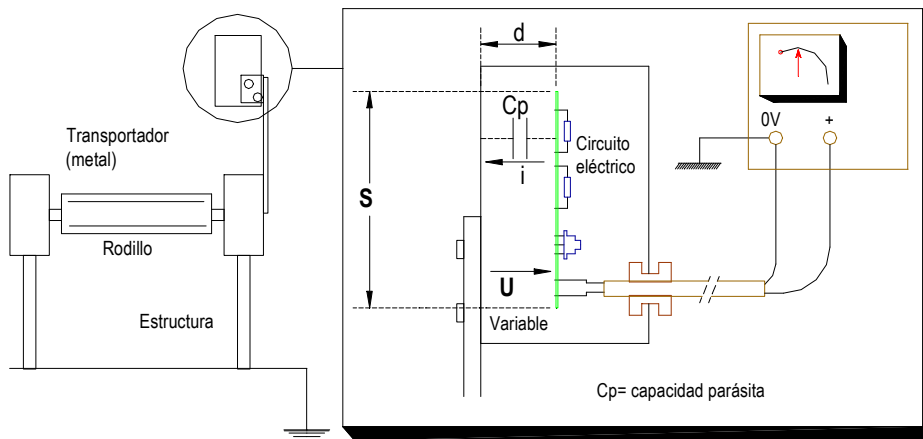


Figura 1.10. Acoplamiento capacitivo.

1.3.3. Clasificación de las perturbaciones electromagnéticas en función de la naturaleza temporal

Si se tiene en cuenta la naturaleza temporal de las mismas, se pueden clasificar en permanentes y transitorias.

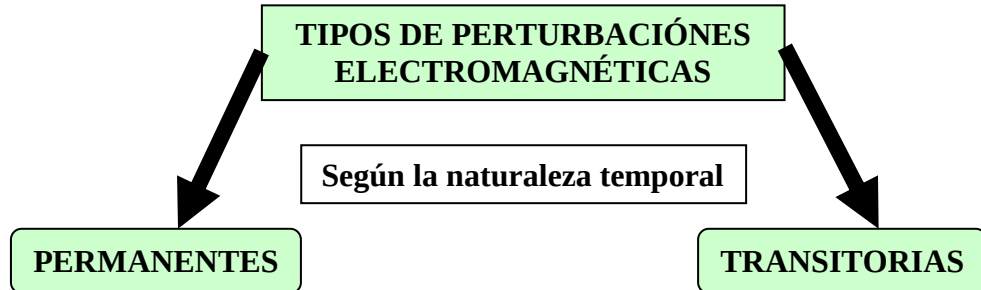


Figura 1.11. Tipos de perturbaciones según la naturaleza temporal

Así pues, para realizar un análisis cuantitativo de una perturbación, se han de tener en cuenta los siguientes puntos:

- 1.- Es de baja frecuencia (BF) o de alta frecuencia (AF)
- 2.- Es conducida o radiada
- 3.- Es permanente o transitoria.

Las perturbaciones de BF, normalmente, se transmiten por conducción a través de los “conductores” eléctricos (líneas de alimentación, cables de transmisión de datos, bus, cables de masas, tierra,...).

1.4. Parámetros que definen la onda de tensión y perturbaciones que les afectan

Como es bien sabido, la energía eléctrica es en la actualidad un producto de gran difusión utilizado, bien a nivel doméstico o industrial, por todas las categorías de población, por las posibilidades que ofrece en cuanto a su conversión en cualquier otra forma de energía –mecánica, térmica, química, etc.- con rendimientos muy elevados, cualquiera que sea la cantidad de energía que intervenga en la transformación. Además se presta al transporte a grandes distancias, con medios simples y relativamente económicos. Y, por último, se presenta como un flujo continuo, muy fácil de subdividir y modular hasta niveles o fracciones prácticamente arbitrarios, y ello tanto o más que los restantes flujos energéticos clásicos (gas, productos petrolíferos, carbón, madera). Por estas tres razones (facilidad de interconversión energética, de transporte y de subdivisión), la electricidad constituye la variante energética ideal para la distribución y el trasvase de energía entre sistemas.

La energía eléctrica, se caracteriza por ser suministrada bajo la forma de tensión sinusoidal, mediante un sistema monofásico o trifásico (sistema eléctrico de potencia, SEP), caracterizado por los siguientes parámetros:

- Amplitud
- Frecuencia
- Forma de onda
- Simetría (sólo en sistemas trifásicos)

La figura 1.12., de por si suficientemente explicativa, muestra los parámetros de la onda de tensión y las perturbaciones que les afectan.

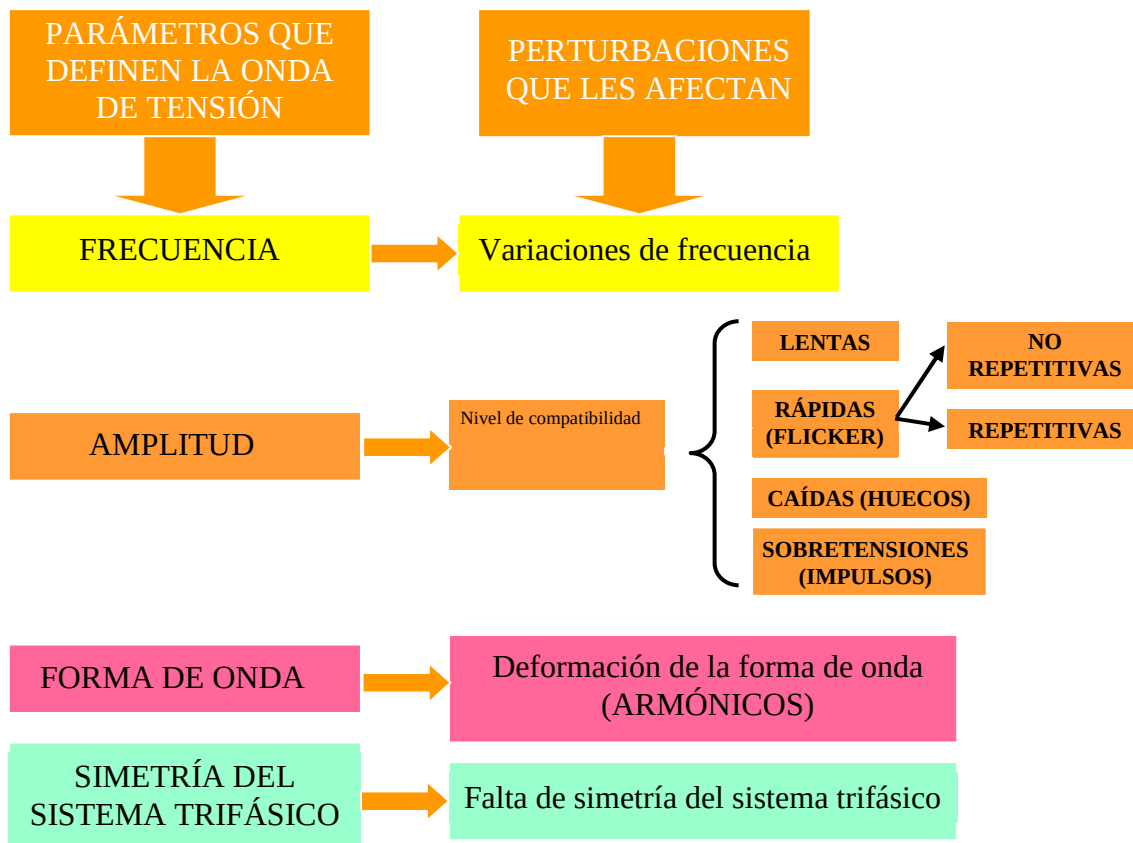


Figura 1.12. Parámetros que definen la onda de tensión y las perturbaciones que les afectan

1.5. Compatibilidad electromagnética

La compatibilidad electromagnética (CEM), se define como la “aptitud de un dispositivo, aparato o sistema, para funcionar en su entorno electromagnético, de manera satisfactoria y sin producir el mismo perturbaciones electromagnéticas intolerables para cualquier receptor que se encuentre en dicho entorno”.

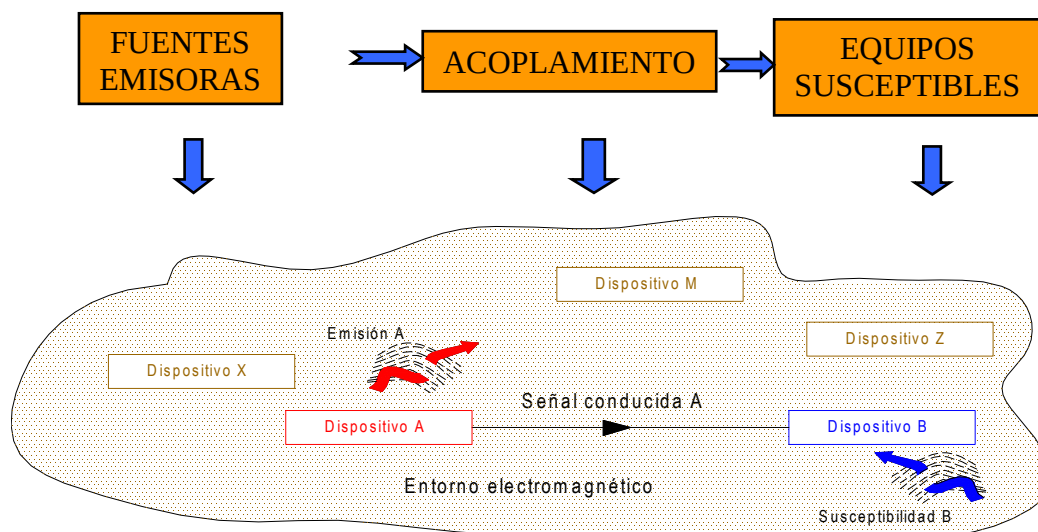


Figura 1.13. Emisión de perturbaciones

Respecto a la CEM, se deben considerar tres elementos fundamentales: la fuente de la perturbación (EMISOR), la vía de transmisión o ACOPLAMIENTO (línea o aire) y el receptor afectado (SUSCEPTIBLE) o sensible.

Para asegurar la CEM, es preciso actuar en la fuente de perturbaciones, REDUCIR LA EMISIÓN, en la vía de transmisión, ATENUAR LA PROPAGACIÓN y en el receptor perturbado, REFORZAR LA INMUNIDAD.

Los dispositivos, aparatos o sistema pueden ser EMISORES que son los que “*originan tensiones, corrientes o campos electromagnéticos potencialmente perturbadores*”, SUSCEPTIBLES o SENSIBLES “*su funcionamiento puede degradarse bajo los efectos de las emisiones*”. Ciertos dispositivos, aparatos o sistemas pueden pertenecer simultáneamente a los dos grupos.

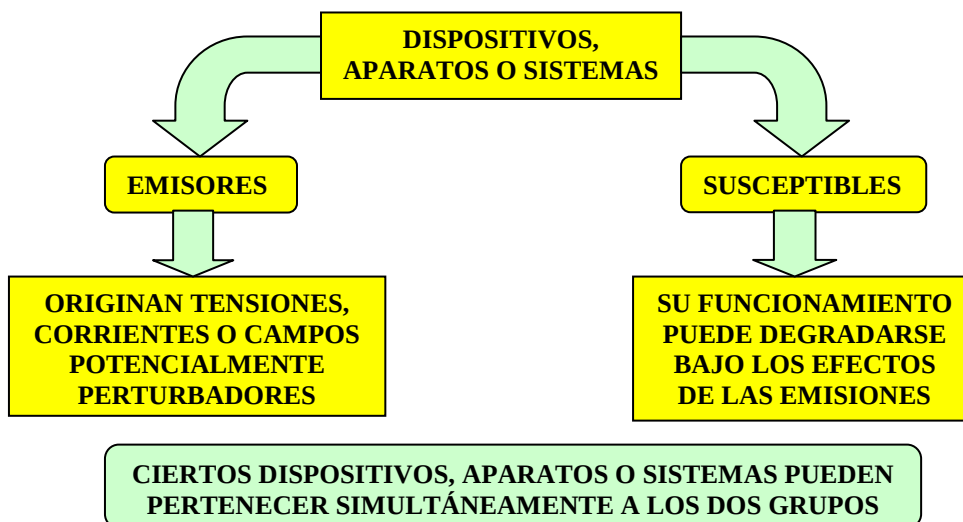


Figura 1.14. Dispositivos emisores y susceptibles

1.5.1. Nivel de compatibilidad electromagnética

Nivel normalizado de una perturbación específica para la cual existe una aceptable probabilidad de compatibilidad electromagnética.

- 1) En la práctica los niveles de CEM son valores de referencia establecidos con la finalidad de una coordinación de las emisiones y, principalmente, de la inmunidad de los receptores. Se designan, generalmente, como valores con una probabilidad del 95%, 98% o 99%; es decir, valores excedidos sólo en un pequeño número de ocasiones, sobre la base estadística tiempo-espacio relativa al sistema eléctrico.
- 2) Sólo hay CEM si los niveles de inmunidad, que corresponden a todos los dispositivos, aparatos y sistemas, son suficientemente elevados en relación al nivel de compatibilidad electromagnética.

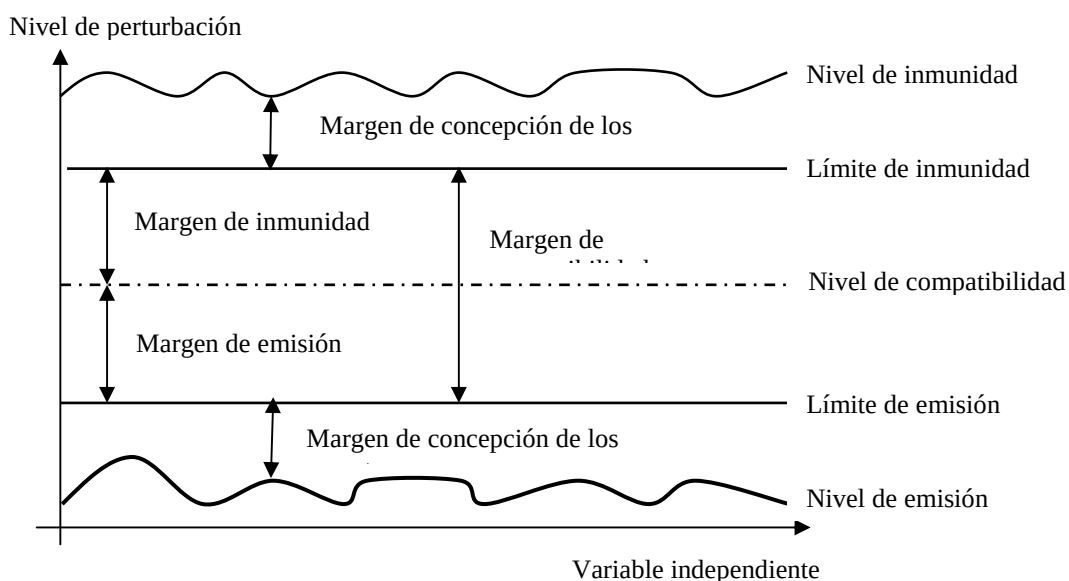


Figura 1.15. Márgenes de compatibilidad, emisión e inmunidad y límites y niveles de emisión e inmunidad

Nivel de inmunidad

Nivel de una perturbación electromagnética de un tipo dado, que obra sobre un aparato, dispositivo o sistema, medida de una manera específica, de tal modo que no provoca ninguna degradación en el funcionamiento.

Límite de inmunidad.- Valor mínimo requerido del nivel de inmunidad.

Nivel de emisión

Nivel de una perturbación electromagnética de un tipo dado, emitida por un dispositivo, aparato o sistema particular y medido de una manera específica.

Límite de emisión

Valor máximo admitido del nivel de emisión (nivel normalizado de emisión que un dispositivo no debe superar).

Nivel de planificación

Es el nivel especificado de perturbación utilizado principalmente con la finalidad de una planificación en la evaluación del impacto en el sistema de alimentación de todas las cargas perturbadoras.

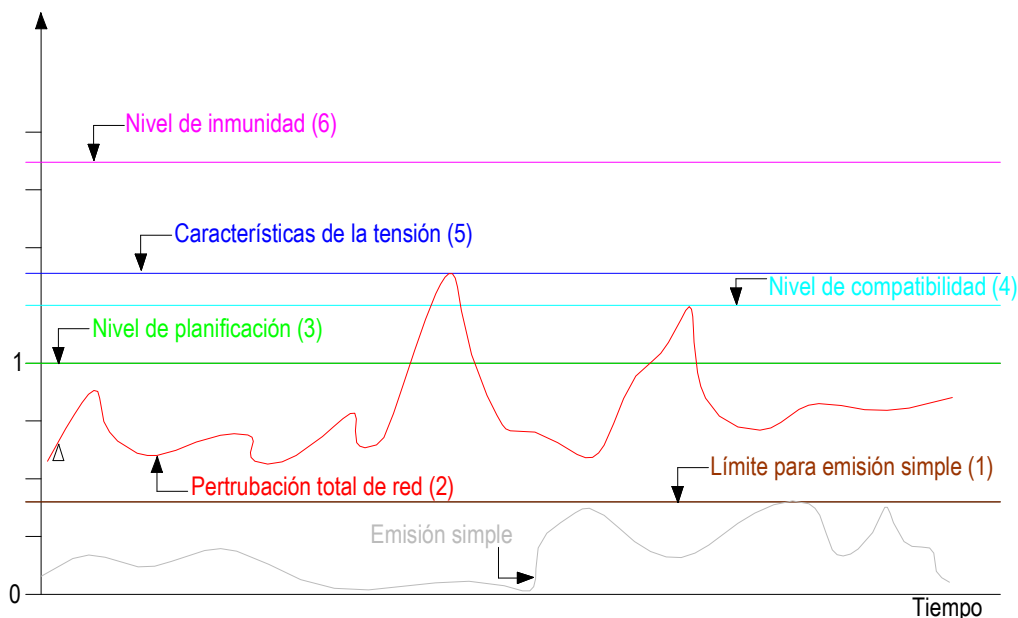


Figura 1.16. Nivel de perturbación. (escala arbitraria)

- (1): Definido por la Normativa o Empresa de distribución (valor máximo o valor 95%)
- (2): Relativo a una barra de red con perturbación media-alta
- (3): Definido por la Empresas de distribución (estadística en el tiempo, valor 95%)
- (4): Definido por la Normativa (estadística t / espacio, valor 95%, valor convencional de referencia)
- (5): Definido por la Normativa (estadística en el tiempo, valor 95%)
- (6): Definido por la Normativa y/ o acordado entre Receptor y Constructor.

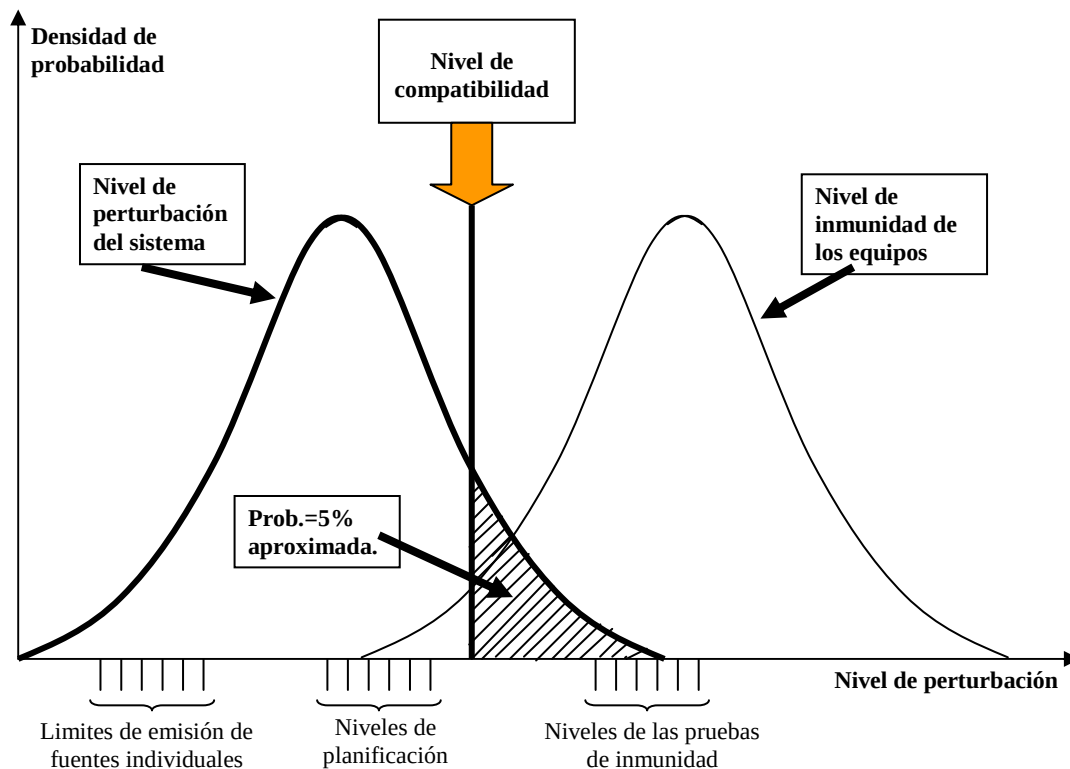


Figura 1.17. Distribuciones estadísticas para el nivel de perturbación y el nivel de inmunidad

Es fundamental que los equipos de los clientes cumplan los niveles de inmunidad y de emisión, así como que se tengan en cuenta los niveles de compatibilidad a la hora de prever la instalación. Un mal funcionamiento debido a no haber tenido en cuenta los requisitos de compatibilidad o a no tener en cuenta un grado adecuado de inmunidad, deberá ser considerado por el distribuidor. De igual manera, habrá que comprobar si los niveles de emisión están por debajo de los recomendables, pues en caso contrario aunque a nivel de planta se cumplan los criterios globales de conexión, se puede estar contaminando en exceso el entorno electromagnético propio de la instalación resultando inadecuados los niveles de inmunidad y compatibilidad para los que se diseñó el producto.

1.6. Entornos electromagnéticos

Entorno electromagnético, es el ámbito que se considera sensible a las perturbaciones electromagnéticas.

Los entornos se pueden clasificar, en primera instancia, en:

Entorno ligero.- Se refiere normalmente a zonas residenciales, ventas al por menor, oficinas, lugares de entretenimiento, talleres, laboratorios, centros de servicios, etc. Se caracterizan porque usualmente son alimentados por el distribuidor en BT (baja tensión).

Entorno industrial.- Se caracteriza por la presencia de aparatos industriales de mayor potencia, científicos o médicos. Usualmente, los entornos industriales son alimentados por el distribuidor en MT (media tensión) o AT (alta tensión).

Los entornos industriales permiten compaginar las tolerancias entre el distribuidor y los clientes a él conectados e incluso para poder compatibilizar las tolerancias dentro de las propias industrias. Existen una gran cantidad de tipos de entornos electromagnéticos diferentes; no obstante, ante la dificultad de describirlos todos, la IEC propone establecer únicamente tres tipos de entornos o clases, los cuales se describen a continuación:

Clase 1

Se aplica a instalaciones protegidas y tiene niveles de compatibilidad inferiores a los de la red de distribución. Permite el empleo de equipos muy sensibles a las perturbaciones en la fuente de alimentación; por ejemplo, instrumentación de laboratorios tecnológicos, algunos equipos de

automatización y protección, algunos ordenadores, etc. Se necesita de un elemento de inmunización para poderse conectar a clase 2.

Clase 2

Se aplica al punto de conexión común (PCC) y al punto de conexión interno de la planta (PCI), en ambientes industriales en general. Los niveles de compatibilidad de esta clase son idénticos a los correspondientes a las redes de distribución.

Punto de conexión común (PCC)

El punto de conexión común de un usuario, se define como el punto de la red de alimentación pública eléctricamente más próximo al usuario, al cual pueden estar conectados otros usuarios.

Punto de conexión interno de la planta (PCI)

Se define como una barra de particular importancia, interna a la planta, de la cual se derivan cargas significativas.

Clase 3

Se aplica exclusivamente en puntos de conexión internos de ámbitos industriales. Esta clase permite valores más elevados, para algunos tipos de perturbaciones, que los correspondientes a las redes de distribución (clase 2). Se debería considerar esta clase cuando se presente alguna de las condiciones siguientes:

- La mayor parte de la carga se alimenta a través de convertidores.
- Presencia de máquinas de soldadura.
- Grandes motores con arranque frecuente.
- Cargas que varían rápidamente

Se precisa un elemento de protección para poder acoplarse a la clase 2 y no interferir ni en el PCI ni en el PCC.

Es preciso conocer el tipo de equipos a instalar y el proceso productivo para poder determinar la clase de entorno a aplicar a nuevas instalaciones o a ampliación de las existentes.

El cumplimiento de los niveles de compatibilidad en los PCI no implica necesariamente el cumplimiento de los requisitos de emisión en el PCC. Esto se debe tener muy en cuenta durante la selección de los equipos. De forma provisional, se pueden adoptar los valores aplicables a las redes públicas.

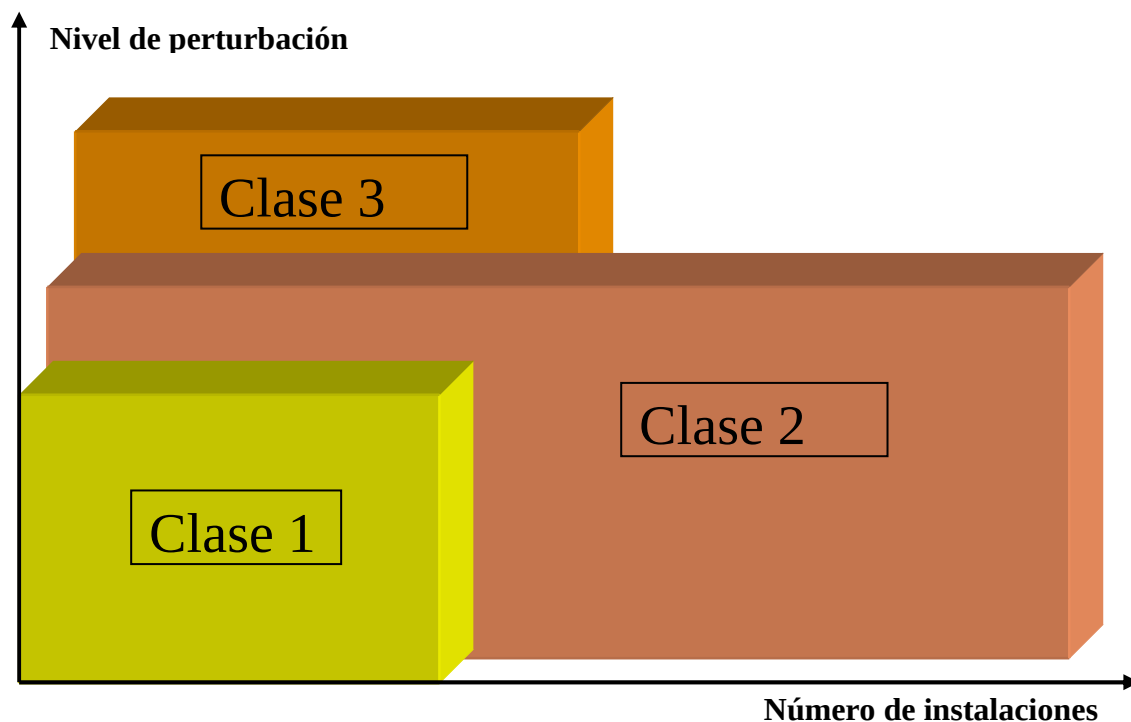


Figura 1.18. Tipos de entornos electromagnéticos

1.7. Coordinación de estrategias



Figura 1.19. Representación de la interrelación entre los diferentes agentes involucrados

Es preciso realizar un balance entre los requisitos conflictivos del equipo sensible, las cargas que producen perturbaciones y el sistema de suministro de energía eléctrica al que deben conectarse.

La CEM involucra a numerosas partes, que deben estar coordinadas con la finalidad de conseguir los resultados esperados. Así pues, de forma resumida, resultan importantes las siguientes ideas:

- ◆ Es preciso trabajar de forma coordinada
- ◆ Adquirir sistemas correctores
- ◆ Disponer de información sobre las cargas a conectar
- ◆ Información de los parámetros que definen la calidad en el PCC
- ◆ La inmunidad de los equipos debe corresponder, al menos, al nivel de compatibilidad

Las implicaciones económicas, técnicas y sociales hacen necesaria la colaboración de todas las partes implicadas: empresas eléctricas, fabricantes de equipos y sistemas, ingenierías que diseñan las instalaciones, universidades que desarrollan investigaciones, usuarios finales y la administración pública.

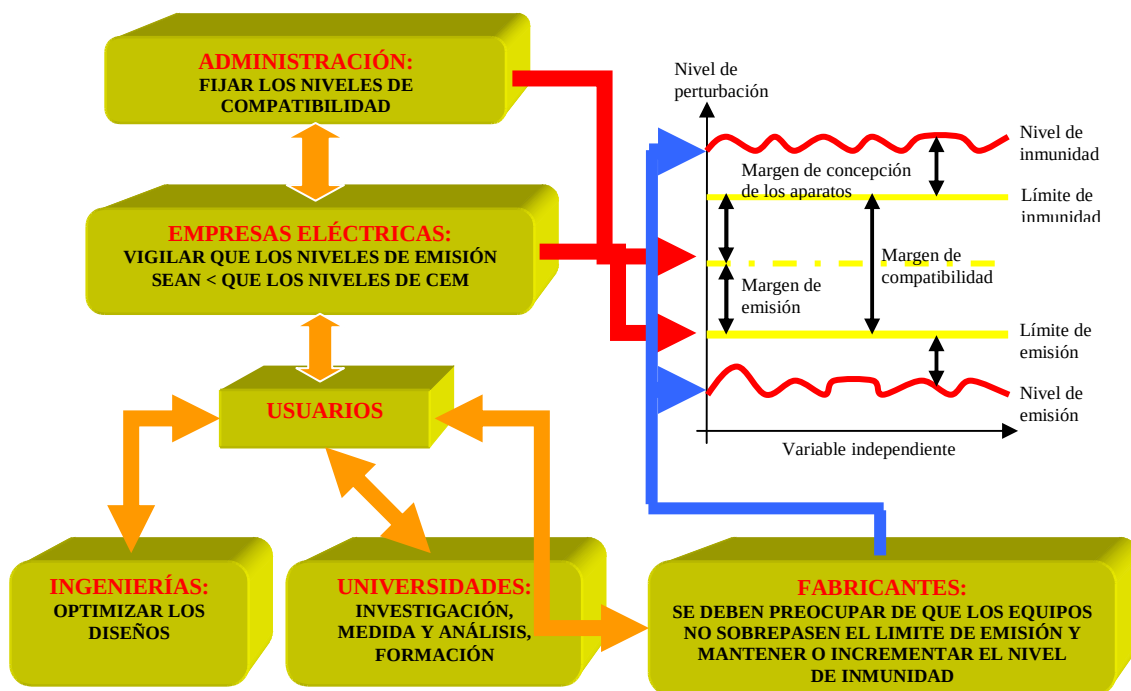


Figura 1.20. Representación de la influencia que pueden ejercer los diferentes agentes.

Es preciso coordinar las estrategias entre la administración, fabricantes de equipos, usuarios, ingenierías, escuelas técnicas y distribuidores para la adaptación al nuevo Marco Reglamentario.

La administración pública elabora normativas con la colaboración de los diferentes agentes y normativas internacionales. Asimismo, ha de realizar el seguimiento y vigilancia sobre el cumplimiento de las diferentes normativas. A la administración del estado, de las comunidades autónomas y ayuntamientos, le corresponde también, en colaboración con suministradores, fabricantes y usuarios industriales, financiar y potenciar las necesarias investigaciones en este campo y, asimismo, fomentar la realización de los cursos formativos apropiados.

Los fabricantes de equipos han de aplicar las tecnologías apropiadas en la elaboración de sus productos, teniendo en cuenta la repercusión en costes y competitividad que ello supone, de tal manera que se cumplan los requisitos que marca la normativa.

Las ingenierías, escuelas técnicas, laboratorios e instaladores, tienen la responsabilidad de diseñar las instalaciones adecuadas, no sólo bajo el punto de vista de obtener una compatibilidad adecuada con las redes de suministro, sino también entre los elementos internos de las mismas. Además, los grupos de investigación de las escuelas técnicas, han de desarrollar las investigaciones apropiadas en este campo, realizar medidas y análisis y desarrollar la necesaria labor de formación e información a alumnos y a otros agentes como suministradores, ingenierías, fabricantes y usuarios

En instalaciones que se encuentran en funcionamiento, la solución a adoptar no tiene porque ser única, depende de factores como la facilidad de implementación, alteración del proyecto inicial o modificaciones posteriores que se hayan ido realizando. Garantías de los equipos ya instalados, etc. La decisión a adoptar dependerá de un compromiso entre el beneficio que aporta la solución a adoptar y los inconvenientes que supone implantarla. En muchas ocasiones la implantación de soluciones se realiza por etapas, partiendo de una solución sencilla, se analiza la relación beneficio-coste para, gradualmente, aumentar la complejidad de la solución y en otras, tras analizar la relación beneficio-coste, simplemente se decide no implantarlas.

En instalaciones nuevas es necesario alcanzar un compromiso entre el coste del nivel de emisión e inmunidad que se pretende conseguir y el beneficio que aporta la consecución de este nivel. Es importante separar aquellos equipo más sensibles de los típicamente perturbadores y alimentarlos mediante derivaciones independientes. Ello permite en el momento de ejecutarlas, o bien en el futuro, adoptar medidas más económicas y efectivas actuando solamente sobre una fracción de la potencia

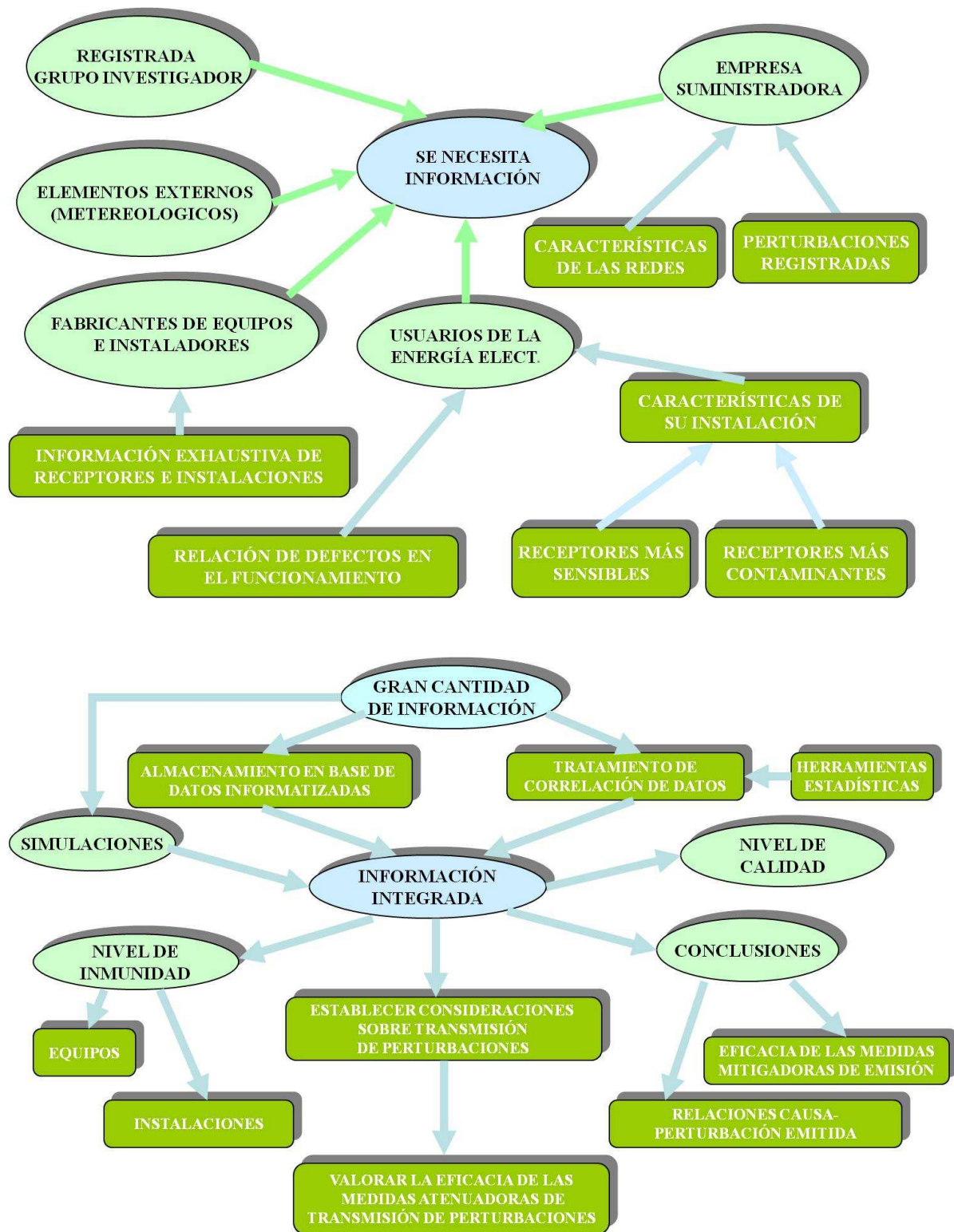
instalada, que sería la de los equipos más sensibles a una perturbación específica o diferentes perturbaciones.

En ocasiones, existe la tendencia equivocada por parte de los usuarios de eludir responsabilidades, relacionando el problema exclusivamente con el suministro eléctrico o con el fabricante de un dispositivo, equipo o sistema, de su instalación, obviando el planteamiento de niveles de emisión e inmunidad a nivel de planta (compatibilidad entre equipos).

Las compañías distribuidoras, han de vigilar que los niveles de emisión en los PCC de los clientes sean compatibles con las tolerancias del producto electricidad y poner todos los medios técnicos para suministrar un producto de calidad.

El R.D. 1955/2000 menciona la norma UNE EN 50160 para los indicadores de calidad de la onda, así como las Instrucciones Técnicas Complementarias, pendientes de definir en el momento actual.





1.8. Evaluación económica de una mala calidad de onda

Para realizar la evaluación económica de una mala calidad de onda es necesario, en principio, analizar cuales son los posibles afectados, ver seguidamente cuales son los aspectos económicos afectados por una mala calidad de onda para, seguidamente, evaluar las pérdidas de producción que conlleva.

1.8.1. Posibles afectados por una mala calidad de onda

El problema de la calidad de onda, en su conjunto, es complejo y afecta a varias partes:

- Usuarios finales de la electricidad, entre los cuales destacan los usuarios industriales.
- Distribuidores de la electricidad.
- Administración pública.
- Fabricantes de dispositivos y aparatos.
- Proyectistas de plantas industriales e instalaciones
- Universidades y centros de investigación.

Por todo ello, el estudio en profundidad de la situación real y el análisis de los problemas que acarrea una mala calidad de onda, así como la elaboración de estrategias y programas de prevención o minimización de efectos beneficia, indudablemente, a todos los sectores directamente implicados y que se han relacionado anteriormente.

Cualquier alteración de magnitud de la onda de tensión superior a las establecidas como tolerables, supone la existencia de perturbaciones en la red de distribución que se transmitirán por ella misma provocando el deterioro de la calidad del producto suministrado a los usuarios.



Para el usuario industrial con procesos críticos o continuos el problema de las perturbaciones es actual (no futuro) y deberá convivir con ellas y con equipos "sensibles" y dado que es quien sufre sus consecuencias de forma directa deberá ser el que tenga que "defenderse" de las perturbaciones tanto como sea posible. Teniendo en cuenta que la nueva tecnología de producción, utilizando equipos sensibles, se ha realizado muchas veces sobre un esquema de distribución eléctrica existente desadaptado y, en otras ocasiones, en caso de plantas nuevas, se han utilizado criterios de diseño tradicionales inadecuados para estas tecnologías, el coste de una adaptación completa resultará, en muchos casos, considerable.

En la gran mayoría de las ocasiones, aunque la potencia demandada por una determinada empresa industrial sea elevada, la parte crítica del proceso requiere, por lo general, solamente una fracción reducida de dicha potencia; por todo ello, la segregación de alimentaciones, en la medida en que permite soluciones globales, es decir actuando centralizadamente solamente sobre aquellos servicios críticos, resulta ser una solución muy adecuada. Desgraciadamente, muy pocas veces los servicios eléctricos se encuentran agrupados por su criticidad, siendo mucho más común la situación en la cual la agrupación responda a criterios geográficos o de proceso. En las instalaciones nuevas esta separación se puede asumir perfectamente en cuanto a coste; sin embargo, en instalaciones existentes, esto resulta muy pocas veces viable, ya que supone rediseñar la instalación eléctrica, con la inversión que ello conlleva y además con el agravante que supone la adaptación de la instalación en una planta que se encuentra en funcionamiento. En caso de que ello fuese posible, los servicios críticos podrían entonces alimentarse de forma diferenciada, ya sea con soporte de generación local, UPS,s, transferencias automáticas a barras seguras, etc.



Cabe hacerse la pregunta de si la calidad de onda es un valor esencial o añadido. Para responder a la misma, es preciso considerar las consecuencias, parte de las cuales ya se han mencionado anteriormente, de la falta de la calidad. Los efectos más inmediatos son aquellos que se perciben por los sentidos, bien audibles, como en el caso de la degradación de las comunicaciones telefónicas, o visibles, como en el caso del parpadeo de la luz o flicker. En ambos casos, toda medida encaminada a su eliminación, o reducción, se puede considerar como un valor añadido.

Por otra parte, ocurren efectos menos perceptibles por los sentidos pero más importantes, tales como el funcionamiento erróneo de equipos de control o protección, la sobrecarga de transformadores, etc. A menudo la distorsión de la onda se detecta demasiado tarde; por ejemplo, tras la destrucción (por otro lado, tan común) de bancos de condensadores. Tales casos requieren no sólo la sustitución de las instalaciones y equipo dañado sino, también, la instalación de filtros para evitar que se repita. Así pues, en tanto y cuanto las medidas preventivas evitan tales efectos catastróficos, la mejora de la calidad de onda puede considerarse como un valor esencial.

1.8.2. Aspectos económicos de una mala calidad de onda.

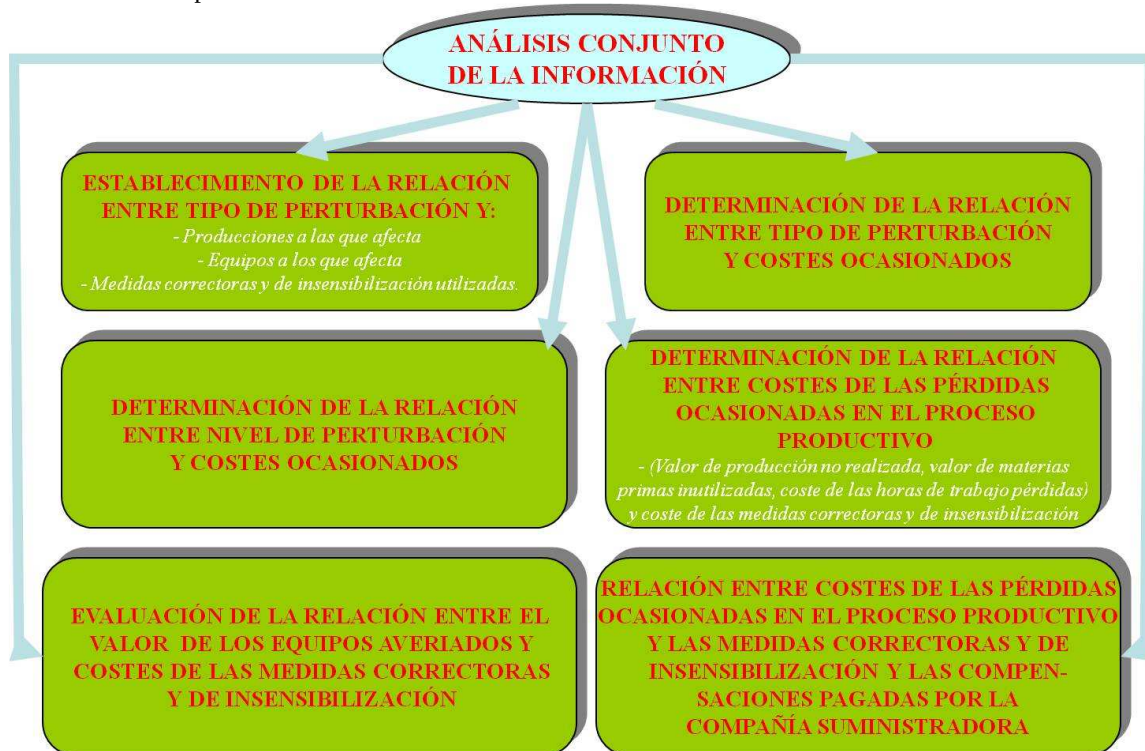
Entre los aspectos económicos de una mala calidad de onda, cabe señalar los ligados a la pérdida de producción, los costes asociados a medidas correctoras, las medidas preventivas (o de insensibilización) y, en menor medida, aquellos aspectos económicos ligados a sanciones por incumplimiento de las regulaciones de calidad. Por lo general, todos estos aspectos se traducen en costes adicionales para el usuario de la red, las compañías distribuidoras y los fabricantes de receptores eléctricos.

Así pues, en la evaluación económica de una mala calidad de onda, es preciso analizar y tener en cuenta, aspectos tales como:

- Valor de la producción no realizada.
- Valor de las materias primas inutilizadas.
- Coste de las horas de trabajo pérdidas.
- Coste de equipos averiados.
- Coste indirecto que conlleva un posible servicio de suministro defectuoso a los clientes.
- Coste de las tareas de medida, análisis y diagnóstico.
- Coste de las medidas correctoras e insensibilizadoras (cambio de equipos, instalación de filtros, incremento de la potencia de cortocircuito,

compensación de reactiva, etc).

- Dependencia de los costes de la perturbación, o perturbaciones, con la hora del día o época del año.

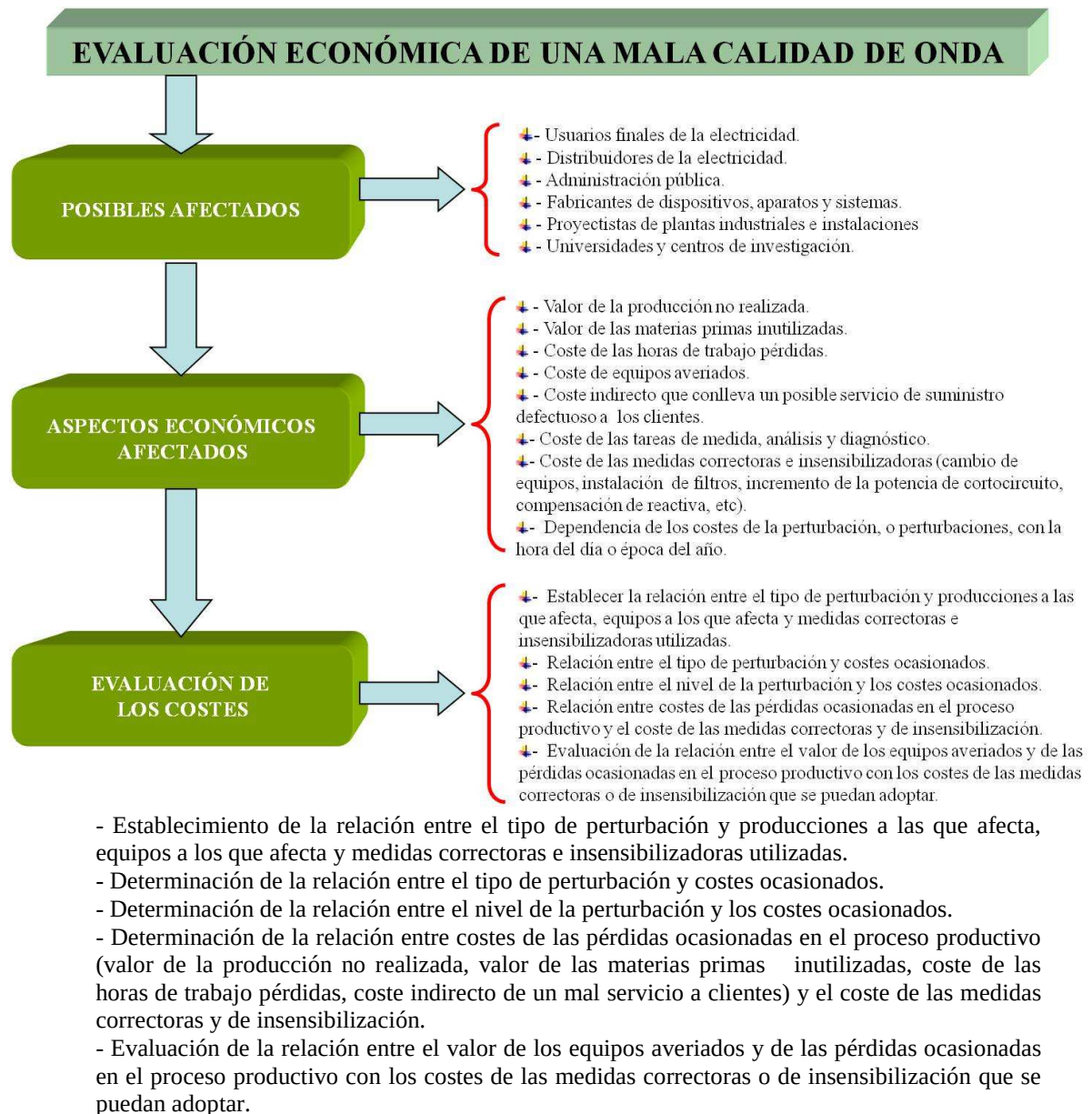


Es necesario señalar, que apenas existen informes públicos significativos referentes a los aspectos económicos de la calidad de onda debido, principalmente, a que el análisis económico de los efectos de las perturbaciones casi siempre se ha tratado de forma somera y marginal. Esto se debe, fundamentalmente, a dos razones: la primera es que los estudios sobre calidad de onda se han realizado, en la mayoría de los casos, desde la perspectiva de la empresa suministradora de electricidad, por lo que los costes ocasionados a los usuarios (y, en muchas ocasiones, a las propias compañías suministradoras, aunque no se dieran cuenta inicialmente) no han sido cuantificados sistemáticamente y, segunda, que la falta de preparación técnica, sobre los fenómenos y efectos de las perturbaciones, de los usuarios que padecen la falta de calidad, ha evitado estudios que cuantificaran, desde un punto de vista económico, los efectos de las perturbaciones en los procesos productivos. Por otro lado, los efectos económicos de las perturbaciones sobre los usuarios domésticos son todavía más difíciles de cuantificar.

En principio, los costes asociados a la existencia de perturbaciones por encima de los límites establecidos de compatibilidad electromagnética (CEM), pueden agruparse en tres grupos:

- Costes directos sobre los usuarios causados por los efectos de la falta de calidad de la onda de tensión.
- Costes de las medidas preventivas y correctoras de la falta de calidad de la onda de tensión.
- Costes indirectos debidos a las posibles sanciones legales por incumplimiento de regulaciones de calidad de onda, penalizaciones que actualmente sólo se recogen en contadas ocasiones pero que si puede suceder, y sin duda sucederá, en futuros marcos regulatorios más avanzados.

Por otro lado, parece claro que los efectos económicos de la falta de calidad en la onda de tensión son diferentes dependiendo del tipo y nivel de la perturbación de que se trate; por todo ello, en un análisis conjunto de la información, se deben contemplar los siguientes puntos:



1.8.3. Evaluación de las pérdidas de producción que conlleva una mala calidad de onda.

La evaluación de las pérdidas de producción, ocasionadas principalmente a los usuarios industriales, pueden ser de diferente magnitud dependiendo del proceso productivo que se vea afectado; por ejemplo:

. En plantas con procesos de producción continuos como las papeleras, laminadoras, rotativas de prensa escrita, etc. La variación de velocidad y/o parada independiente de los motores de alguno de los rodillos que se mueven en este tipo de procesos continuos, puede provocar la ruptura de la cinta de papel o lámina en general, ocasionando la pérdida de material en proceso, así como pérdida del tiempo de producción hasta el rearranque del proceso.

- Cementeras; los efectos sobre el sistema de control del proceso de fabricación del cemento, ocasionados generalmente por huecos de tensión, producen interrupciones en la producción, bajando el rendimiento de la planta.

-Factorías de semiconductores; este tipo de plantas, dada la alta sensibilidad de los equipos existentes en las "salas limpias" de producción, se ven afectadas por la mala calidad de onda provocando problemas en el funcionamiento de estos equipo y ocasionando, en la mayoría de los casos, daños importantes, como pueden ser la pérdida completa de la producción de las obleas.

- Industrias del sector cerámico, se pueden producir paradas en los hornos, molinos y atomizadores que conducen, generalmente, a paradas del proceso productivo.

Se podría continuar analizando los efectos ocasionados por la mala calidad de onda en, prácticamente, cualquier tipo de industria que incorpore nuevas tecnologías o un cierto grado de automatización, en la mayoría de los casos las pérdidas de producción que se pueden ocasionar pueden llegar a alcanzar varios millones de euros.

El estudio y la investigación en todo lo relacionado con la calidad de onda permite, establecer directrices e influye directa y significativamente en la consolidación de nuevas técnicas, equipos y procesos, tanto continuos como discretos, que permitan mejoras en la producción, impulsar tecnologías innovadoras y el desarrollo de los conocimientos que permitan mejorar y desarrollar procesos, componentes y subsistemas que posibiliten un desarrollo de productos y servicios más eficientes y seguros; así pues, de forma general, la calidad de onda tiene una incidencia directa en:

1. Diseño integrado de procesos y sistemas de supervisión y control
2. Diseño considerando el ciclo de vida del producto y su utilización y reciclado
3. Desarrollo de productos innovadores, en particular mediante la aplicación de nuevas tecnologías.
4. Componentes mecánicos y subsistemas críticos (cabezales de alta velocidad, transfers electrónicos, etc.)
5. Robótica industrial y de servicios
6. Robótica móvil
7. Sistemas automatizados de almacenamiento y transporte
8. Sistemas mecatrónicos
9. Sistemas tolerantes a fallos
10. Comunicaciones y redes industriales
11. Herramientas de simulación de procesos, servicios y sistemas
12. Desarrollo de sistemas de planificación, programación y gestión de producción
13. Desarrollo de máquinas y medios de producción
14. Reducción y/o eliminación de ruidos y vibraciones en equipos e instalaciones
15. Sistemas de planificación, programación y gestión de la producción

Y, especialmente, los resultados obtenidos en las investigaciones, influirán directamente y de forma decisiva en:

1. Sistemas de automatización y control avanzado de procesos. Sistemas de control de procesos complejos distribuidos.
2. Monitorización, diagnóstico y mantenimiento de máquinas, procesos e instalaciones .

1.8.4. Interferencias electromagnéticas

La **interferencia electromagnética** es la perturbación que ocurre en cualquier circuito, componente o sistema electrónico causada por una fuente externa al mismo. También se conoce como **EMI** por sus siglas en inglés (ElectroMagnetic Interference), **Radio Frequency Interference** o **RFI**. Esta perturbación puede interrumpir, degradar o limitar el rendimiento de ese sistema. La fuente de la interferencia puede ser cualquier objeto, ya sea artificial o natural, que posea corrientes eléctricas que varíen rápidamente.

Las interferencias electromagnéticas se pueden clasificar en dos grupos: intencionadas y no intencionadas. El primer caso se refiere a interferencias causadas por señales emitidas intencionadamente, con el propósito expreso de producir un mal funcionamiento, es decir, una interferencia (como ocurre en la denominada **guerra electrónica**). Entre las segundas se incluyen por un lado aquellas causadas por señales emitidas con otra intención (generalmente, sistemas de telecomunicaciones) y que accidentalmente, dan lugar a un efecto no deseado en un tercero; y por otro aquellas emitidas no intencionadamente (equipos electrónicos en su funcionamiento normal, sistemas de conmutación, descargas electrostáticas, equipos médicos, motores de inducción).

El **CISPR** (Comité Especial Internacional de Interferencia Radio por sus siglas en inglés) propone estándares para limitar la interferencia electromagnética radiada y conducida.

1.8.5. Costes de las medidas CEM para el caso de interferencias

En vista de los costes y tiempos de parada que comportan las interferencias, es preciso garantizar en todo momento el funcionamiento libre de error de los sistemas de automatización. Los largos tiempos de parada debido a la necesidad de laboriosos reajustes resultan intolerables.

Hoy en día, está universalmente aceptado que es más rápido y menos costoso intentar prevenir la posibilidad de interferencias al comienzo de la fase de diseño, en lugar de buscar cómo solucionarlas cuando aparezcan. Durante el proceso de diseño, la primera solución, la menos compleja y costosa, suele ser recolocar los componentes del mismo, buscando conexiones más cortas, de menor impedancia y un mejor diseño de la masa del circuito.

Por esta razón, es necesario tener en cuenta los factores de CEM al planificar un proyecto. Cualquier medida de protección contra interferencia adoptada a "*posteriori*" sobre el terreno ha de ser la excepción a esta regla, si bien es posible que resulten necesarias durante la puesta en servicio.

Este paso no siempre es posible, bien por su complejidad, bien trabajamos con un diseño ya realizado (por ejemplo, comprado), que no se puede cambiar. En ese caso, lo más sencillo suele ser añadir nuevos componentes (filtros, condensadores de desacoplo, cuentas de ferrita) con la esperanza de que se resuelva así el problema.

Dado que los errores suelen producirse de manera esporádica, resulta difícil localizar la fuente real de la interferencia, por lo que se hace inevitable revisar todo el sistema. Estas revisiones no sólo consumen tiempo, sino que también exigen la utilización de equipo de medición especial y de personal cualificado.

También se puede reducir la velocidad de trabajo en algunos sistemas electrónicos. Esto puede exigir una reprogramación.

Otra opción, sencilla pero costosa, puede ser blindar los dispositivos a proteger, o bien cambiarlos de sitio, y colocarlos donde no den problemas (algunos lo comparan a esconder un monstruo en el sótano).

Finalmente, una última posibilidad puede ser cambiar los componentes problemáticos por otros más resistentes.

En todo caso, una vez se ha instalado un sistema, las posibilidades de revisión son menores que en la etapa de diseño. La posibilidad de modificar la configuración del cableado o de los aparatos en un sistema finalizado es remota y suele comportar elevados costes y largos tiempos de parada. La gráfica inferior muestra la relación entre las medidas CEM y los costes generados durante las distintas fases de implantación de un sistema de automatización. Evidentemente, esta gráfica no refleja la pérdida de producción, un factor que también ha de tenerse en cuenta.

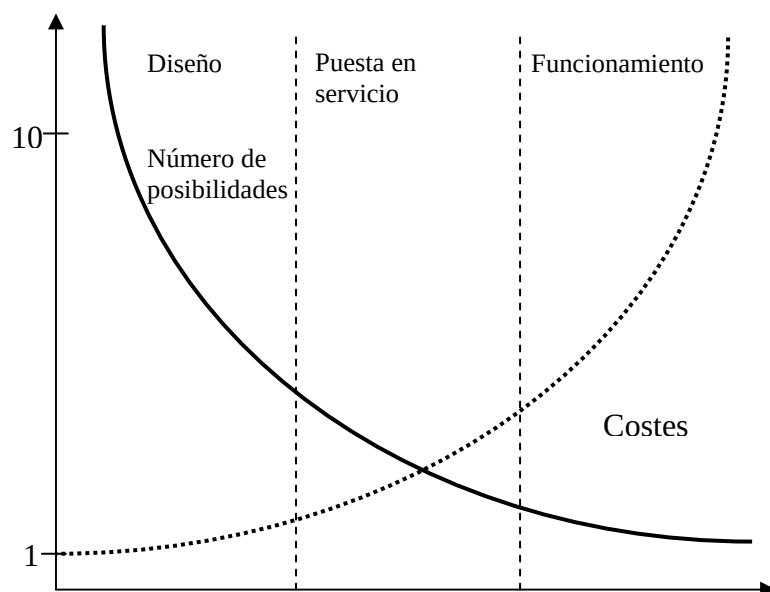


Figura 1.21. Número de medidas CEM y los costes

1.8.6. Planificación de las medidas de CEM para el caso de interferencias.

La planificación de un sistema de automatización contribuye a garantizar un funcionamiento libre de error y de interferencia del sistema una vez implantado. Cuantas más precauciones se adopten en esta fase, mayor certidumbre habrá de que el sistema funcione correctamente en el entorno industrial.

Es preciso seleccionar los componentes eléctricos, configurarlos y proporcionarles protección, de modo que quede garantizada su inmunidad contra interferencia en condiciones de funcionamiento normales.

En este sentido, resulta aconsejable recurrir al programa CEM, en el cual se describen todas las medidas CEM de tipo organizativo y técnico que han de ejecutarse para cada una de las fases de implantación individual de un aparato eléctrico. Adicionalmente a un programa detallado en el tiempo, este plan especifica igualmente objetivos y criterios.

No obstante, las necesidades de CEM varían en función de la aplicación en cuestión. Por cada situación en que los elementos supresores sean suficientes para eliminar fuentes de interferencia, existirá otra en la que sea precisa la creación de un concepto CEM detallado y extensivo. Sea el caso que sea, las exigencias de seguridad y la disponibilidad del sistema son los criterios decisivos.

Hay que tener en cuenta tres factores básicos a la hora de planificar las medidas de CEM en un sistema de automatización:

1. Los aspectos de CEM de las características de producto del sistema de automatización en cuestión y del equipo eléctrico.
2. La ubicación del sistema y los factores de interferencia existentes.
3. El diseño de los aparatos eléctricos individuales en el sistema.

1.8.7. Lista de comprobación CEM

Se recomiendan los siguientes pasos para la creación de un programa CEM:

- ☒ Analizar - el entorno electromagnético de la instalación
- ☒ Clarificar - las especificaciones involucradas (normas)
- ☒ Enumerar - los dispositivos eléctricos que han de utilizarse
- ☒ Especificar - las medidas CEM
- ☒ Crear - los conceptos para cableado, apantallado, puesta a tierra y protección contra descarga atmosférica.
- ☒ Implantar - las medidas CEM.
- ☒ Comprobar - la implantación adecuada de las medidas CEM.
- ☒ Demostrar - el funcionamiento libre de error ni perturbaciones del sistema.
- ☒ Mejorar - cualquier posible defecto del sistema.

1.9. Evaluación de la calidad de la onda de tensión

Aún sabiendo que el problema de la mala calidad del suministro de la energía eléctrica, y en particular la mala calidad de la onda, afecta tanto a las instalaciones eléctricas industriales, máquinas, equipos y comunicaciones como a personas, es bastante difícil poder disponer de una red libre de perturbaciones. Muchas veces la solución del problema está fuertemente condicionada por su parte económica; por lo

que, tanto las compañías como los consumidores tienen que llegar a un compromiso entre lo técnicamente deseable y lo económicamente posible; no obstante, en los planteamientos económicos es preciso tener en cuenta, también, el ahorro energético y la vida útil de los propios equipos que no sólo se incrementa con una buena calidad de onda, sino que se evita/reduce el mal funcionamiento de los mismos.

Una vez que el agente perturbador se encuentra en la red es bastante difícil hacer que desaparezca. La acción que se presenta para su evaluación, se plantea desde un punto de vista amplio, donde el análisis previo a la conexión a la red de cargas perturbadoras tiene un tratamiento específico. Es importante conocer el tipo y la cantidad de perturbación que inyectará o sufrirá una carga de unas características determinadas que se conecta a un sistema eléctrico. El conocer los efectos de una determinada perturbación, sobre los equipos e instalaciones en general, es de gran importancia para prever las medidas a adoptar, tanto en la fase de diseño de las instalaciones industriales como en la fase de implantación. Se planteará, en esta acción, el desarrollo de modelos preparados para trabajar con los programas de estudio de redes que existen en el mercado y de elaboración propia. Partiendo del conocimiento de las redes y de las cargas será posible prever el comportamiento del sistema eléctrico ante la presencia de una perturbación y analizar los posibles efectos con la finalidad de adoptar medidas tendentes a eliminarlos o reducirlos.

Así pues, con el fin de reducir los perjuicios de todo tipo que una mala calidad de onda lleva implícitos, es necesario:

- 1.- Conocer los efectos indeseables que las perturbaciones introducen en las propias instalaciones de las empresas suministradoras y de los clientes.
- 2.- Conocer las perturbaciones en los distintos niveles de la red (MT y BT) y cuales son los mecanismos de transmisión.
- 3.- Conocer los niveles de emisión de perturbaciones por parte de los receptores (Reguladores de velocidad de motores, hornos de arco, hornos de inducción, transformadores y bobinas con núcleo de hierro, electrodomésticos con equipo de regulación, alumbrado de descarga, máquinas de soldadura, molinos de rodadura, interruptores automáticos con equipo de reenganche, baterías de condensadores, subestaciones de tracción con conexión monofásica, etc.).
- 4.- Conocer los efectos que provocan las perturbaciones en los receptores e instalaciones industriales (incorrecto funcionamiento de equipos de regulación y protección, pérdidas adicionales en máquinas y baterías de condensadores, interferencias en los sistemas de telecomunicación, reducción de la capacidad de los cables por efectos de sobrecargas, calentamiento indebido de los motores de inducción ocasionado por las pérdidas, incremento de las pérdidas en las líneas, acortamiento de la vida útil de los receptores, generación de molestia visual por la fluctuación en la intensidad de iluminación, actuación incorrecta de las protecciones, mal funcionamiento de los equipos de medida, funcionamiento incorrecto de motores, pérdida de sincronismo de las máquinas síncronas, etc.)
- 5.- Conocer los niveles de inmunidad de los receptores (motores asíncronos, reguladores de velocidad, ordenadores, televisores, líneas de telecomunicación, baterías de condensadores, equipos de medida, equipos de protección, equipos de iluminación, equipos de automatización robots industriales, etc).

La correlación de todos los factores indicados en los puntos anteriores ha de permitir determinar las causas de las perturbaciones, distinguiendo su origen y tipo, así como los efectos que provocan en las máquinas, equipos e instalaciones, tanto de las empresas suministradoras como de las plantas industriales y demás usuarios del producto electricidad. Asimismo, posibilitará la evaluación cuantitativa de las soluciones que se obtengan para disminuir la emisión de las perturbaciones, limitar su propagación o aumentar los niveles de inmunidad.

En el ámbito económico, es importante evaluar y comparar el coste de la incompatibilidad existente entre la calidad de la energía eléctrica y la sensibilidad de los diferentes receptores, con el coste que supondría el aumento de la compatibilidad entre ambas partes, mejorando bien el diseño y ejecución de las instalaciones de suministro y de las plantas industriales, bien la inmunidad y características de los receptores, permitiendo establecer métodos de evaluación económica sistematizada de los diferentes problemas que se presentan y de sus soluciones.

Una de las mayores dificultades existentes en los sistemas de medición es el manejo de los registros y la gestión de la información capturada ya que requiere el desarrollo de una plataforma de software que administre, depure, analice y sintetice las mediciones para entregar indicadores concretos que muestren las características espaciales y temporales de las perturbaciones de calidad de potencia [47-54].

Ahora bien, cada vez se hace más necesario la disponibilidad de la información que se tenga sobre los parámetros eléctricos no solamente para el operador de red, sino también para el usuario final. En este sentido se podría plantear que los dispositivos de medición de calidad de potencia podrían brindar dicha información siempre y cuando se tenga diseñada e implementada una plataforma de comunicaciones y una herramienta de gestión de esta información.

1.10. Continuidad del suministro

La continuidad del suministro, se refiere al número y duración de las interrupciones del suministro de energía eléctrica a la distribución y a los consumidores directamente conectados. Se definen los siguientes índices:

$$TIEPI = \frac{\sum_{i=1}^k PI_i \cdot H_i}{\sum PI} \quad (1.1)$$

$$NIEPI = \frac{\sum_{i=1}^k PI_i}{\sum P_i} \quad (1.2)$$

Donde:

k = Número de interrupciones durante el periodo considerado, instalaciones 1kV<V<36 kV

Hi = Tiempo de interrupción del suministro que afecta a la potencia Pli

Pli = Potencia instalada en los centros de transformación MT/BT del distribuidor más la potencia contratada en MT afectada por la interrupción “i” de duración Hi

Las interrupciones que se considerarán en el cálculo del TIEPI /NIEPI serán las de duración superior a tres minutos.

ΣPI = Suma de la potencia instalada de los centros de transformación MT/BT del distribuidor más la potencia contratada en MT

Percentil 80% TIEPI: Valor que 80 % TIEPli < Perc.80.

Tabla 1.1. Cumplimiento de calidad zonal

ZONA	TIEPI (h)	Perc. 80 (h)	NIEPI (n°)
Urbana	2	3	4
Semiurbana	4	6	6
Rural concentrada	8	12	10
Rural dispersa	12	18	15

Para el cálculo del TIEPI se tendrá en cuenta las interrupciones programadas, aunque los límites del RD 1955/200, se refieren a las no programadas (internas y terceros).

Ningún municipio estará por encima del percentil 80 de su zona más de dos años consecutivos.

1.10.1. Recogida de información sobre la continuidad del suministro

Las compañías distribuidoras deberán disponer de **sistemas** que, de acuerdo con sus características específicas, **permitan recoger información sobre las incidencias** que se produzcan en su red de distribución.

Los datos necesarios para obtener el registro de interrupciones tienen un doble origen:

1.- Los que provienen de los **centros de control**, tanto de telecontrol como de la actuación manual, donde se recogen las interrupciones de suministro con impacto en AT y/o MT y sus afectaciones hasta el nivel de transformador de CT y de cliente de AT y MT.

2.- Los datos que provienen de los **centros de atención al cliente**, basados principalmente en la atención telefónica de clientes, y que recogen fundamentalmente las interrupciones de suministro con impacto en instalaciones de MT y BT y sus afecciones hasta el punto de agregación.

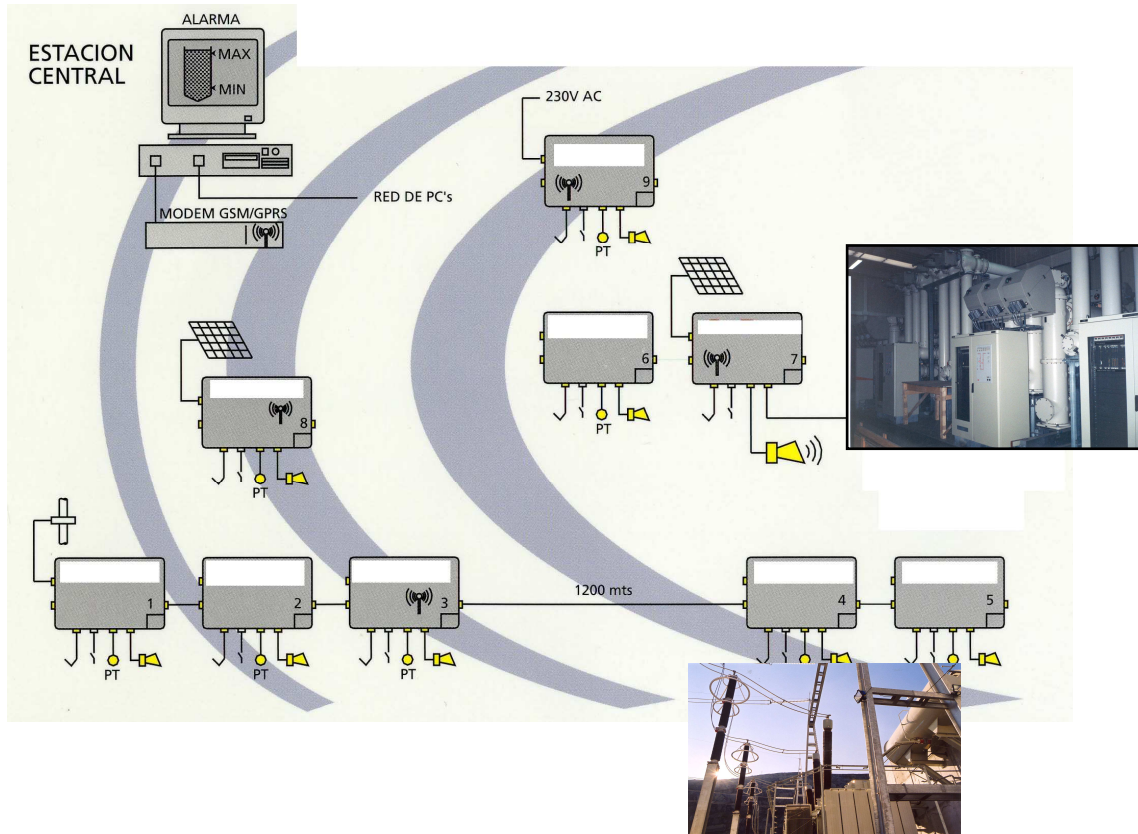


Figura. Esquema del sistema de telecontrol SCADA

Sistema de telecontrol SCADA.

El sistemas de telecontrol SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) permite el registro de los datos de las incidencias producidas de forma automática.

El registro cronológico de aperturas y cierres de elementos telecontrolados del SCADA es una fuente de contraste de los tiempos con relación a las maniobras asociadas a la incidencia a efectos de trazabilidad o el seguimiento de la evolución de una incidencia desde el inicio de la misma.

Actuación manual

Los datos obtenidos a partir de actuación manual constituyen una fuente de información de incidencias donde no se dispone de telecontrol en la red o cuando éste no está operativo.

Centro de atención al cliente

El centro de atención al cliente constituye el medio de comunicación entre la empresa distribuidora y sus clientes, a través del cual los consumidores pueden notificar a la compañía las anomalías producidas en su suministro eléctrico.

1.10.2. Medidas a adoptar para la mejora de la continuidad del suministro

Las medidas a adoptar para tratar de conseguir una mejora de la continuidad del suministro, se pueden clasificar en dos grandes grupos:

- Medidas directas de primer orden
- Medidas complementarias

Entre las medidas complementarias, se pueden citar:

- Aumento del telemando en las líneas de distribución.
- Fomento de sistemas de monitorización remota: eliminación de las causas antes del problema.
- Fomentar la incorporación de información a los programas actuales de mantenimiento preventivo.
- Incorporación de nuevos índices de seguimiento para la evaluación de la calidad y para el seguimiento de los planes de mejora.
- Otras.

1.10.2.1. Medidas directas de primer orden

- Mallado de redes de distribución

-Conexión de los extremos de un alimentador MT a posiciones de salida de distintas subestaciones AT/MT

- Inyecciones desde el propio sistema de distribución MT: Centros de reparto, reflexión, transformación, derivaciones en “T” desde otros alimentadores...
- Instalación de líneas de doble circuito.
- Operación mallada de sistemas AT (típicamente sistemas con una tensión superior a 66 kV).
- Recrecido de instalaciones de distribución: desdoblamiento circuitos, cambio conductores ...
- Nuevos desarrollos de red: Los más problemáticos, nuevas líneas y sistemas eléctricos.
- Sustitución de elementos de la red (en algunos núcleos urbanos estas medidas se complican por la afección que supone sobre el desarrollo normal de las actividades: obras, zanjas etc)
- Telemandos cuando los riesgos de pérdida de determinadas bolsas de mercado son importantes, especialmente en líneas de gran longitud en antena
- Agilización de medidas administrativas:

- La coordinación y simplificación de los trámites entre las distintas administraciones e incluso entre distintas agencias o departamentos dentro de una misma administración es un factor decisivo.

Desde que se aprueba un plan de refuerzo o ampliación, hasta que se realiza finalmente, a veces pasa mucho tiempo, incluso años (cuando no se encuentran paralizados).

1.10.2.2. Medidas complementarias

- Aumento del telemando en las líneas de distribución

En la mayoría de ocasiones el disparo y la eliminación de avería se produce a nivel de alimentador. El análisis de la criticidad de los alimentadores debe ser la base para establecer las actuaciones más urgentes, en este sentido se deben analizar los siguientes factores:

- Históricos de averías.
- Elevada longitud del alimentador (> 30 km), impacto de mercado
- Elevado número de derivaciones particulares
- Dificultades para la accesibilidad e intervenciones de los equipos
- Análisis de las restricciones que los conductores pueden imponer en situaciones de “apoyo”

Cuando se dispone de telemandos, la localización y restitución de las bolsas de mercado no afectadas es muy rápida, y evita la búsqueda por iteraciones (con desplazamiento por tierra de las brigadas) de la zona afectada por la avería.

- Fomento de los sistemas de monitorización remota: eliminación de las causas antes del problema.

bCon la finalidad de obtener cuanto antes los datos más precisos de seguimiento, se deben fomentar los equipos de medida y control en tiempo real de los puntos singulares de la red (ya la norma 792 indica que se fomentará el registro de las interrupciones de suministro en los contadores, se trataría, quizás no a tan bajo nivel, de obtener información más precisa y útil para la predicción y localización de averías)

El empleo de nuevos sistemas de tele-señalización o monitorización remota, y los equipos con posibilidad de telemando asociados son un instrumento imprescindible para la gestión y prevención de incidencias:

- Localización de anomalías
- Configuración de la red a nivel de Centros de Distribución y Transformación: Localización de defectos
- Tele-detección de alarmas y/o pre-alarmas (temperatura, U,I, presión, incendios etc)
- Gestión de redes de MT y BT

- Fomento de sistemas de monitorización remota: eliminación de las causas antes del problema.

La implantación de estos sistemas no es más sino la extensión de los actuales sistemas SCADA a escalones inferiores de la red.

- Información incorporada en los programas actuales de mantenimiento preventivo

También sería importante fomentar que los actuales sistemas de mantenimiento programado incorporen información histórica asociada a un elemento específico de maniobra (en cierto modo algunas empresas ya lo hacen pero no con un procedimiento claro y común para todas las empresas pre-establecido):

- Tasas de Fallo
- Reparaciones realizadas
- Tiempo medio por tipo de reparación
- Procedimientos de reparación empleados
- Espacio temporal entre fallos

Esta información, fácilmente vinculable a los sistemas de GIS utilizados en mantenimiento, puede facilitar la interpretación y programación de las gamas para los diferentes equipos.

- Agilización de medidas administrativas

La coordinación y simplificación de los trámites entre las distintas administraciones e incluso entre distintas agencias o departamentos dentro de una misma administración es un factor decisivo. Desde que se aprueba un plan de refuerzo o ampliación, hasta que se realiza finalmente, a veces pasa mucho tiempo, incluso años, (cuando no se encuentran paralizados).

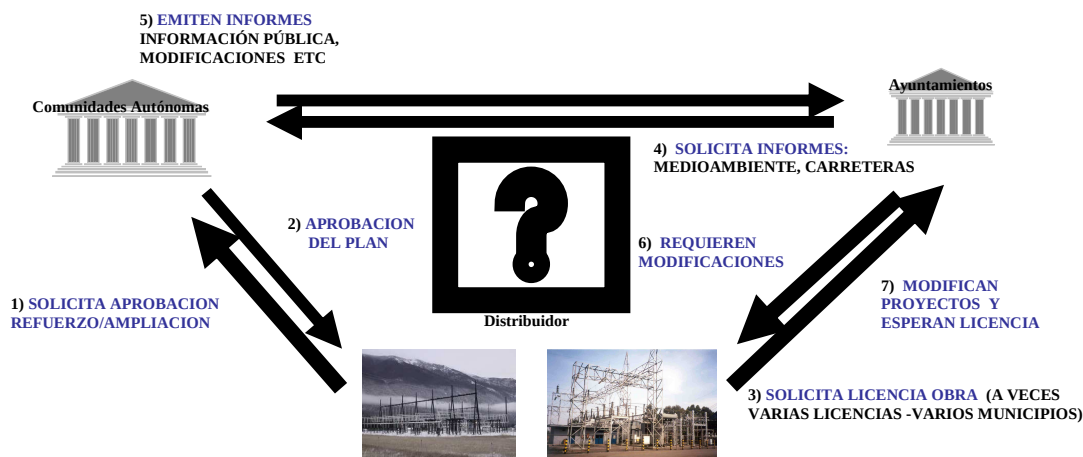


Figura. Esquema indicativo de los tramites administrativos que es preciso seguir en España para la consecución de autorizaciones de obras de realización de instalaciones eléctricas.

- Seguimiento adicional de índices de tendencia que eliminen las situaciones de coyuntura

Incorporar parámetros de tendencia, no con el criterio de servir de límites sino para eliminar la volatilidad que a veces presenta el TIEPI, algunos ejemplos:

$$TIEPI_{3i} = \frac{TIEPI_{i-2} * \sum PI_{i-2} + TIEPI_{i-1} * \sum PI_{i-1} + TIEPI_i * \sum PI_i}{\sum PI_{i-2} + \sum PI_{i-1} + \sum PI_i} \quad (1.3)$$

TIEPI TRIENAL: elimina volatilidad

$$t_{i,j} = \frac{\text{TIEPI}_{3(i-1),j} - \text{TIEPI}_{3i,j}}{\text{TIEPI}_{3(i-1),j}} \times 100(\%) \quad (1.4)$$

TIEPI TENDENCIA: mide la evolución del TIEPI trienal

- Otras

- Tendencia percentil: Relación entre la diferencia de percentil 80 del TIEPI Trienal de dos años consecutivos y el percentil 80 del TIEPI Trienal del año anterior.
- Inclusión de TIEPIS objetivo en los planes de mejora (no con carácter de valor mínimo, asegurado u obligatorio sino con el fin de poder realizar un mejor seguimiento de las medidas realizadas, analizar las propuestas de mejora....).

1.11. Atención y relación con el cliente

Se refiere a los aspectos de: asesoramiento, contratación, comunicación y reclamación relacionados con el cliente o consumidor.

En el R.D. 1955/2000, se establecen plazos para la elaboración de presupuestos de nuevos suministros y para ejecución de las instalaciones, en función de su complejidad, tensión etc.

Cumplimiento de calidad individual

Para el cumplimiento de la calidad individual, se establecerá un procedimiento de medida y control para determinar afectaciones en todos y cada uno de los consumidores. Se remite al art.. 108. pto.3, del R.D. 1955/2000, donde emplaza a las distribuidoras a proponer un procedimiento de medida, homogéneo y auditable.

Tabla 1.2 . Cumplimiento de calidad individual en relación con los consumidores

ZONA	Horas MT	Interr. MT	Horas BT	Interr.BT
Urbana	4	8	6	12
Semiurbana	8	12	10	15
Rural concentrada	12	15	15	18
Rural dispersa	16	20	20	24

El consumidor tendrá derecho a instalar a su cargo un sistema de registro de incidencias de calidad de servicio, debidamente precintado, al objeto de confrontar valores, previo acuerdo.

La Evaluación de la Calidad Individual y el consiguiente descuento de facturación de los clientes, depende básicamente del conocimiento del punto de agregación de los suministros de los clientes afectados y del registro de interrupciones correspondiente a las instalaciones desde las que se alimenta.

El descuento a aplicar en la facturación tendrá un carácter anual y se aplicará automáticamente dentro de los tres meses siguientes desde el final del año considerado, desarrollándose una metodología de cálculo de los descuentos en facturación por calidad individual a clientes cualificados y a clientes tarifa (según “Procedimiento de Medida y Control de la Continuidad de Suministro Eléctrico”, presentado por UNESA, ASEME y CIDE en cumplimiento del artículo 108.3 del Real Decreto . 1955/2000, de 1 de diciembre)

Aplicación informática auditable

Los datos de continuidad serán recogidos en una aplicación informática auditable. Dicha aplicación, será diseñada de forma que se recojan los datos más relevantes para proporcionar una información completa y correcta de cada una de las incidencias. La modificación posterior de cualquiera de los datos introducidos requerirá una justificación expresa, así como la referencia a la documentación soporte que justifique el cambio realizado.

La información mínima para realizar un correcto análisis de la incidencia registrada en la aplicación sería un código alfanumérico de identificación de la incidencia y los intervalos horarios en los que alguna de las instalaciones se vea afectada por la incidencia registrada. En cada intervalo horario puede haber diferentes instalaciones afectadas, o una misma instalación puede estar afectada en varios intervalos horarios de la incidencia. Se considerarán como instalaciones afectadas los centros de transformación de la empresa y las instalaciones de los clientes que tengan un contrato de suministro en vigor en el momento de la incidencia.

Es preciso disponer de los siguientes datos relativos a una interrupción:

- Tipo de interrupción (programada o imprevista)
- Causa de la incidencia (transporte, terceros, fuerza mayor y propias)

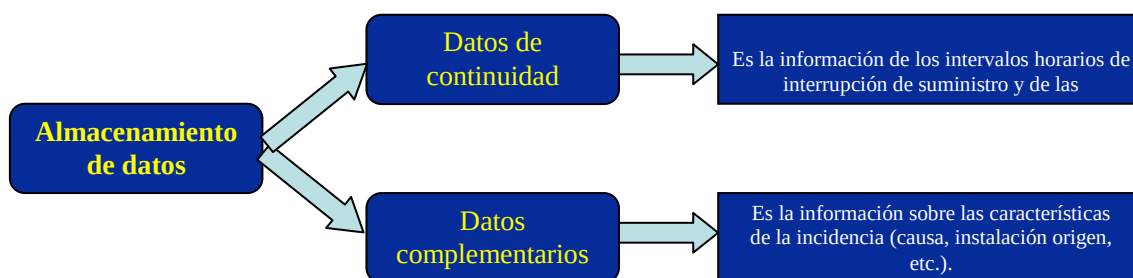


Figura. Diagrama de bloques indicativo de los tipos de datos a almacenar en la aplicación informática.

La aplicación estará diseñada de forma que permita a un **tercero independiente** verificar todo el proceso de **captación, modificación, transmisión, soporte y tratamiento de la información**, mediante el almacenamiento de la información necesaria en el período de análisis, así como comprobar la compatibilidad y correcta relación de los sistemas de la sociedad afectados (Sistema de Registro de Incidencias, base de datos comercial, base de datos técnica, etc.), de modo que al final del trabajo de verificación se pueda afirmar con una seguridad razonable que la información elaborada por la empresa se corresponde con la realidad.

La aplicación, independientemente de su implementación física, garantizará la posibilidad de verificar el control adecuado de los riesgos de confidencialidad, integridad, disponibilidad y relevancia de la información, así como los debidos a la infraestructura tecnológica

En cada intervalo horario puede haber diferentes instalaciones afectadas, o una misma instalación puede estar afectada en varios intervalos horarios de la incidencia.

Al final, la información se presentará en forma de una tabla de fechas (dd:mm:aaaa) horas (hh:mm:ss), inicial y final, para cada instalación afectada en cada uno de los intervalos horarios de la incidencia.

1.12. Descuentos en la facturación

Si no se cumplen las normativa específicas relativas a la continuidad de suministro, los consumidores de la electricidad han de percibir unas compensaciones que dependen del tipo de consumidor.

Consumidor cualificado

Para el cálculo de los descuentos en facturación por calidad individual a consumidores cualificados, se requiere:

- Para cada cliente, identificación del punto de agregación que está asociado.
- Zona asignada al punto de agregación que determina los umbrales en tiempo y número de interrupciones.
- Registro de interrupciones del punto de agregación, con indicación de aquellas que dan derecho a descuento de facturación.
- Facturación anual del cliente.
- Energía anual suministrada.

Cuando se hayan superado los umbrales reglamentarios, la fórmula del descuento en facturación, es aquella cuyo resultado sea la mayor de las siguientes:

Por peajes o tarifas de acceso:

$$D_{1T} = 5 \frac{FE}{E} \cdot \bar{P}_f \cdot (T_I - U_T)$$

$$D_{1N} = \frac{FE}{E} \cdot \bar{P}_f \cdot T_I \frac{(N_I - U_N)}{8}$$

Por la energía dejada de suministrar:

$$D_{2T} = 5 \cdot pf \cdot \bar{P}_f \cdot (T_I - U_T)$$

$$D_{2N} = pf \cdot \bar{P}_f \cdot T_I \frac{(N_I - U_N)}{8}$$

Donde:

$$E = \sum_{i=1}^6 E_i = \text{Energía anual suministrada} = \text{Suma de la energía suministrada}$$

FE = Término de facturación de energía

Pf = Potencia media facturada en el año.

TI = Tiempo de interrupción anual acumulado.

NI = Número anual de interrupciones acumulado.

UT = Umbral de tiempo reglamentariamente fijado en de la zona de suministro.

UN = Umbral de número de interrupciones reglamentariamente fijado en de la zona de suministro.

pf = Precio final horario medio anual del kWh en el mercado de producción.

El descuento está limitado al 10 por 100 de la facturación anual (FE).

Consumidor a tarifa

Los requisitos para el cálculo de los descuentos son los mismos que los de los consumidor cualificados. Cuando se hayan superado los umbrales reglamentarios, la fórmula del descuento es la mayor de las siguientes:

$$D_T = 5 \frac{FE}{E} \cdot \bar{P}_f \cdot (T_I - U_T)$$

$$D_N = \frac{FE}{E} \cdot \bar{P}_f \cdot T_I \frac{(N_I - U_N)}{8}$$

Donde:

FE = Facturación de energía emitida en el año anterior tal como se establece en la Orden de 12 de enero de 1995 en la que se establecen las tarifas eléctricas.

E = Energía anual suministrada.

Pf = Potencia media facturada en el año.

TI = Tiempo de interrupción anual acumulado.

NI = Número anual de interrupciones acumulado.

UT = Umbral de tiempo de la zona de suministro.

UN = Umbral de número de interrupciones de la zona de suministro.

El descuento está limitado al 10 por 100 de la facturación anual (FE).

En el caso de que el consumidor haya tenido suspendido el suministro por falta de pago, no se aplicará el descuento por facturación de aquellas interrupciones que se hayan producido dentro del período de suspensión.

En el caso de suministros que no estén al corriente de pago, podrá compensarse el descuento con la parte pendiente de pago por el consumidor.

regulaciones tienden a separar las dos actividades. El comercializador se encarga de todos los aspectos comerciales del suministro de electricidad.

- **Administración:** es la autoridad competente en el ordenamiento de los sistemas eléctricos, ya sea el estado a través del ministerio correspondiente (usualmente el Ministerio de Economía) o las Comunidades Autónomas en lo que les compete.
- **Regulador:** ente que regula el sistema eléctrico, diseña las reglas del mercado eléctrico y vigila su cumplimiento. En España se creó la Comisión Nacional del Sistema Eléctrico (CNSE), un órgano independiente con funciones mayoritariamente consultivas.

1.14. Referencias Bibliográficas

- [1] Corredor, P. Visión de las Redes Inteligentes en Colombia. Memorias XM Compañía de Expertos en Mercados S.A. E.S.P. 2011.
- [2] Céspedes, R. Plan de Acción para el desarrollo de Redes Inteligentes en Colombia. Memorias Seminario Cíee -Uniandes. Febrero 2011.
- [3] Céspedes, R. Muñoz, N. Pinciroli, F. Memorias II Taller Internacional sobre Fundamentos de Smart Grids en Sistemas Eléctricos. Julio 2011.
- [4] Resolución 024, Por la cual se modifican las normas de calidad de la potencia eléctrica aplicables a los servicios de Distribución de Energía Eléctrica; Comisión reguladora de energía y gas, Colombia, 2005.
- [5] EPRI, Electrical Power Institute. www.epri.com
- [6] M. Romero, A. Pavas, G. Cajamarca, L. Gallego. A new methodology for the comparative analysis of sags among substations in a distribution network in Colombia. International Conference on harmonics and Quality of Power ICHQP 2010. Bergamo, Italy. 2010.
- [7] CIRCULAR 043, Presentación resultados estudio de calidad de la potencia eléctrica, Comisión reguladora de energía y gas, Colombia, 2010.
- [8] CIRCULAR 061, Estudio de diagnóstico de la calidad de la potencia, Comisión reguladora de energía y gas, Colombia, 2010.
- [9] Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 2-8: Environment - Voltage dips and short interruptions on public electric power supply systems with statistical measurement results, 2002.
- [10] Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-7: Limits - Assessment of emission limits for the connection of fluctuating installations to MV, HV and EHV power systems, 2008.
- [11] IEEE 1453 IEEE Recommended Practice for Measurement and Limits of Voltage Fluctuations and Associated Light Flicker on AC Power Systems, 2004
- [12] Impact of Long and Short-time Voltage Variations on the PST and Voltage Unbalance Indicators; O.J. Murillo, A.M. Blanco, L.E. Gallego, Universidad Nacional de Colombia, International Conference on harmonics and Quality of Power ICHQP 2010. Bergamo, Italy. 2010.
- [13] Effects of High Penetration of CFLs and LEDs on the Distribution Networks, A.M. Blanco Castañeda, E. Parra, Universidad Nacional de Colombia, International Conference on harmonics and Quality of Power ICHQP 2010. Bergamo, Italy. 2010.
- [14] A. Pavas, H. Torres-Sánchez, A. Delgadillo. A novel approach for the simulation of power quality stationary disturbances in electric power systems. International Conference on harmonics and Quality of Power ICHQP 2010. Bergamo, Italy. 2010.
- [15] A. Pavas, H. Torres-Sánchez, V. Staudt. Method of Disturbances Interaction: Novel approach to assess responsibilities for steady state power quality disturbances among customers. International Conference on harmonics and Quality of Power ICHQP 2010. Bergamo, Italy. 2010.
- [16] A. Pavas, V. Staudt, H. Torres-Sánchez. Experimental Investigation of existing Methodologies for the Responsibilities Assignment Problem. IEEE Power Tech Bucharest, Romania. 2009.
- [17] Determination of sag disturbing and sag vulnerable zones in a distribution network using stochastic fault simulation, Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008 IEEE.
- [18] A. Pavas, V. Staudt, H. Torres-Sánchez. Discussion on existing methodologies for the responsibilities assignment problem. ISNCC 2008 - IX Conference Seminar - International School on Nonsinusoidal Currents and Compensation. Lagow, Poland. 2008.
- [19] G. Cajamarca, M. Romero, A. Pavas, D. Urrutia, L. Gallego, H. Torres, E. Parra. Nueva metodología de análisis comparativo de sags entre subestaciones de una red de distribución - caso colombiano. IV International Symposium on Power Quality - SICEL 2007. Manizales, Colombia. 2007.

- [20] H. Torres, G. Cajamarca¹, A. Pavas, D. Urrutia, L. Gallego, A. Delgadillo. Impact Assessment of Power Quality Limits in Colombia: a Regulatory Approach. Transmission and Distribution Conference and Exposition - 2006 IEEE PES T&D. Caracas, Venezuela. Agosto 2006.
- [21] H. Torres, O. Duarte, G. Cajamarca, L. Gallego, A. Pavas, D. Urrutia. The Usage of Neural Networks and Time Series in Pattern Recognition and Forecasting of Power Consumption Profiles. IEEE Power Engineering Society - PES General Meeting, San Francisco, US. June, 2005.
- [22] L. Gallego, H. Torres, A. Pavas, D. Urrutia, G. Cajamarca, and D. Rondón. A methodological proposal for monitoring, analyzing and estimating power quality indices: the case of Bogotá - Colombia. IEEE Power Tech. Saint Petersburg, Rusia. June, 2005.
- [23] A. Delgadillo, L. Buitrago, A. Pavas, D. Urrutia, G. Cajamarca, L. Gallego, H. Torres. Impact of the Interruptions of Long and Short Duration in the Value of the Pst Indicator. IEEE Power Engineering Society - PES General Meeting. Montreal, Canadá. Junio 2006.
- [24] A. Pavas, H. Torres, D. Urrutia, G. Cajamarca, L. Gallego, A. Delgadillo. Method for the calculation of power quality indices. IEEE Power Engineering Society - PES General Meeting. Montreal, Canadá. Junio 2006.
- [25] A. Pavas, H. Torres, D. Urrutia, G. Cajamarca, L. Gallego, L. Buitrago. A novel approach to the simulation of power quality disturbances in electric power system. Transmission and Distribution Conference and Exposition - 2006 IEEE PES T&D. Caracas, Venezuela. Agosto 2006.
- [26] C. Li, W. Xu and T. Tayjasanant. Critical Impedance-Based Method for Identifying Harmonic Sources. IEEE Transactions on Power Delivery. Vol. 19, Num. 2, April, 004.
- [27] D. Castaldo, A. Ferrero, S. Salicone and A. Testa. A Power Quality Index based on Multi-Point Measurements. IEEE Power Tech Conference Proceedings. Bologna, Italy, Vol. 4, June 23-26, 2003.
- [28] D. Castaldo, A. Ferrero, S. Salicone and A. Testa. An Index for Assessing the Responsibility for Injecting Periodic Disturbances. Energia Elettrica Ricerche. Vol. 81. 2004.
- [29] A. Ferrero, A. Manchetti and R. Sasdelli. Measurement of the Electric Power Quality and Related Problems. ETEP European Transactions on Electrical Power. Vol. 6, Num. 6, Nov--Dec, 1996.
- [30] C. Muscas. Assessment of Electric Power Quality: Indices for Identifying Disturbing Loads. European Transactions on Electrical Power. Vol. 8, Num. 4, July-August, 1998.
- [31] C. Muscas, L. Paretto, S. Sulis and R. Tinarelli. Investigation on Multipoint Measurement Techniques for PQ Monitoring. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. Vol. 55, Num. 5, October. pp 1684-1690. 2006.
- [32] A. E. Emanuel. On the Assessment of Harmonic Pollution. IEEE Transactions on Power Delivery. Vol. 10, Num. 2, July, 1995.
- [33] A. P. J. Rens and P. H. Swart. On techniques for the localisation of multiple distortion sources in Three-phase networks: Time domain verification. ETEP. Vol. 11, Num. 5, September--October, 2001.
- [34] W. Xu, X. Liu and Y. Liu. An Investigation on the validity of Power-Direction method for Harmonic source determination. IEEE Transactions on Power Delivery. Vol. 18, Num. 1, January, 2003.
- [35] Caramia, P., Carpinelli, G., Verde, P. Power quality Indices in liberalized markets. Wiley. 2009.
- [36] Collins, E.R., Jr.; Morgan, R.L. A three-phase sag generator for testing industrial equipment. IEEE Transactions on Power Delivery, Volume: 11, Issue: 1, 1996, Page(s): 526 - 532.
- [37] Renzhong Shan; Xiangning Xiao; Zhongdong Yin; Qiao Liu. Multi-objective Voltage Quality Disturbance Generator with Cascade H-bridges. Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2010 Asia-Pacific. 2010, Page(s): 1 - 4
- [38] Yan Ma; Karady, G.G. A single-phase voltage sag generator for testing electrical equipments. Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2008. T&D. IEEE/PES. Digital Object Identifier: 10.1109/TDC.2008.4517185. Publication Year: 2008, Page(s): 1 - 5
- [39] Renzhong Shan; Zhongdong Yin; Xiangning Xiao. Research on a Novel Series-Connected Voltage Fluctuation Generator. International Conference on Energy and Environment Technology, 2009. ICEET '09. Volume: 2. 2009, Page(s): 221 - 224
- [40] Boonmee, C.; Kumsuwa, Y.; Premrudeepreechacharn, S. Implementation of real time three phase balanced voltage sag generator 1 kVA: Using microcontroller and PC control, ICCAS-SICE, 2009 Publication Year: 2009, Page(s): 903 - 907
- [41] Oranpiroj, K.; Premrudeepreechacharn, S.; Ngoudech, M.; Muangjai, W.; Yingkayun, K.; Boonsai, T. The 3-phase 4-wire voltage sag generator based on three dimensions space vector modulation in abc coordinates. IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2009. ISIE 2009. 2009, Page(s): 275 - 280
- [42] Oranpiroj, K.; Premrudeepreechacharn, S.; Ngoudech, M.; Mungjai, W.; Yingkayan, K.; Boonsai, T. The 3-phase 4-wire voltage sag generator based on abc algorithm. International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, 2009. ECTI-CON 2009. 6th Volume: 01. Year: 2009, Page(s): 82 - 85

- [43] Chung, Y.H.; Kwon, G.H.; Park, T.B.; Lim, G.Y. Voltage sag and swell generator with thyristor controlled reactor. International Conference on Power System Technology, 2002. Proceedings. PowerCon 2002. Volume: 3. Digital Object Identifier: 10.1109/ICPST.2002.1067870. Publication Year: 2002 , Page(s): 1933 - 1937 vol.3
- [44] Chung, Y.H.; Kwon, G.H.; Park, T.B.; Kim, H.J.; Moon, J.I. Voltage sag, swell and flicker generator with series injected inverter. Power Engineering Society General Meeting, 2005. IEEE. Digital Object Identifier: 10.1109/PES.2005.1489246. Publication Year: 2005 , Page(s): 1308 - 1313 Vol. 2
- [45] Dongyu, Li; Honglin, Zhou; Shuai, Xiao; Geng, Yang; A new voltage sag generator base on power electronic devices. International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG), 2010 2nd IEEE. Digital Object Identifier: 10.1109/PEDG.2010.5545808. Publication Year: 2010 , Page(s): 584 - 588.
- [46] Collins, E.R.; Jian Jiang. Voltage Sags and the Response of a Synchronous Distributed Generator: A Case Study. Power Delivery, IEEE Transactions on Volume: 23 , Issue: 12008
- [47] Bingham, R.P. Measurement instruments for power quality monitoring. Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2008. T&D. IEEE/PES. 2008 , Page(s): 1 - 3
- [48] Lin Tian Hua; Zhao Xia. The design and implementation of Power Quality Monitor System. 2nd International Conference on Power Electronics and Intelligent Transportation System (PEITS), 2009 . Volume: 2. 2009 , Page(s): 34 - 37
- [49] Thapar, A.; Saha, T.K.; Zhao Yang Dong. Investigation of power quality categorisation and simulating it's impact on sensitive electronic equipment Power Engineering Society General Meeting, 2004. IEEE Digital Object Identifier: 10.1109/PES.2004.1372855 Publication Year: 2004 , Page(s): 528 - 533 Vol.1
- [50] Alves, M.F.; Fernandes, D.E.B. Development of an automated power quality management system. Transmission and Distribution Conference, 1999 IEEE Volume: 2. 1999 , Page(s): 579 - 584
- [51] Dong-Jun Won; Seung-Il Moon. Optimal Number and Locations of Power Quality Monitors Considering System Topology. Power Delivery, IEEE Transactions on Volume: 23 , Issue: 1 Digital Object Identifier: 10.1109/TPWRD.2007.911126 Publication Year: 2008 , Page(s): 288 - 295
- [52] Batista, J.; Alfonso, J.L.; Martins, J.S. Low-cost power quality monitor based on a PC. International Symposium on Industrial Electronics, 2003. ISIE '03. 2003 IEEE. Volume: 1. 2003 , Page(s): 323 - 328 vol. 1.
- [53] Ming Zhang; Kaicheng Li. A Power Quality Monitoring System over the Internet. Information Science and Engineering (ICISE), 2009 1st International Conference on Digital Object Identifier: 10.1109/ICISE.2009.136 Publication Year: 2009 , Page(s): 1577 - 1580
- [54] Lee, R.P.K.; Lai, L.L.; Tse, N. A Web-based multi-channel power quality monitoring system for a large network. Power System Management and Control, 2002. Fifth International Conference on (Conf. Publ. No. 488) 2002, Page(s): 112 - 117
- [55] H. Torres, A. Pavas, D. Urrutia, G. Cajamarca, J. Herrera, L. Gallego, M. Vargas, D. Rondón, E. Pérez, C. Younes, J. Montaña. "Evaluation of Power Quality at the Low Side of Industrial Facility" Proceedings of XIII International Conference on Electromagnetic Disturbances - EMD' 2003. Bia?ystok, September 24 - 26, 2003.
- [56] Torres, H., Acero, G., Flechas, J., Quintana, C., Saucedo, J. Energía Eléctrica, un producto con calidad, ISBN 958-9383-38-6, ICONTEC, Bogotá, 2003.
- [57] Castañeda, D., Mahecha, A. Herrera, F. Análisis comparativo de dos metodologías para el estudio de la asignación de responsabilidades en la emisión de armónicos en sistemas de distribución, evaluados en el punto de conexión común (PCC), para el caso de operador de red con más de un usuario. Proyecto de grado pregrado para optar por el título de Ingeniero Electricista. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 2007
- [58] Paul, C. Introduction to electromagnetic compatibility. Wiley. 1992
- [59] Bollen, M. Understanding Power quality. Voltage sags and interruptions. Wiley. 2000.
- [60] Arrillaga, J., Watson, N.R., Chen, S. Power quality Assessment. Wiley. 2001.
- [61] Romero M. Diseño de una metodología para análisis de sags de tensión en redes de distribución. - Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Tesis de Maestría, Colombia. Enero, 2011.
- [62] Informe final "innovación tecnológica en identificación y medición de clusters de calidad de potencia para Bogotá" PAAS-UN. Enero 2011. Bogotá. Colombia.
- [63] Resolución CREG 097. ``Por la cual se aprueban los principios generales y la metodología para el establecimiento de los cargos por uso de los Sistemas de Transmisión Regional y Distribución Local'', Ministerio de Minas y Energía, Sep. 26, 2008.
- [64] Luna L. "Metodología de Evaluación de la Confiabilidad para la Interconexión de Generación Distribuida en los Sistemas de Distribución Local Colombianos". Universidad Nacional de Colombia. Tesis de Maestría, Colombia. Junio, 2011.

- [65] Wash M. Motor vehicles. Air pollution as Climate forcing. Alternative scenarios - Their benefits and costs. 2005
- [66] Leyton, R. Metros, tranvías y trenes de cercanías. Transporte urbano y medio ambiente. Alstom. Expo-ambiental. España 2009.
- [67] Montezuma R. Transformación urbana y movilidad. Contribución al debate en América Latina. Universidad Nacional de Colombia. 2008
- [68] Lozano, R. compañía de trolebus de Quito, Bogotá Colombia.
- [69] Velandia Edder. Energía eléctrica. Alternativa energética para un transporte urbano sustentable en Colombia. Codensa ESP. SA. 2009.
- [70] Pinto C. Nuevas políticas del transporte. Plataformas reservadas. Sistemas de buses con plataforma reservada. Consorcio regional de transporte de Madrid. Foro de movilidad, Murcia. España. 2009.
- [71] El Colombiano, Carro eléctrico a examen en Sofasa, Artículo de prensa publicado por el periódico El colombiano.
http://www.elcolombiano.com/BancoConocimiento/C/carro_electrico_a_examen_en_sofasa/carro_electrico_a_examen_en_sofasa.asp, 2011
- [72] Basu, Malabika. Gaughan, Kevin. Coyle, Eugene. Harmonic distortion caused by EV battery chargers in the distribution system network and its remedy. IEEE Transactions on Power Systems, 2005.
- [73] Clement-Nyons, K. Haesen, E. Driesen, J. The Impact of Charging Plug-In Hybrid Electric Vehicles on a Residential Distribution Grid, IEEE Transactions on Power Systems, 2010
- [74] Zapata, R. Impacto en la demanda de energía eléctrica en Colombia debido a la penetración de vehículos híbridos-eléctricos y eléctricos. Tesis Pregrado, Universidad Nacional de Colombia, 2009.
- [75] Xu, Le. Marshall, Mike. Dow, Luther. A Framework for Assessing the Impact of Plug-in Electric Vehicle to Distribution Systems on the Power Distribution System IEEE Transactions on Power Systems, 2011.
- [76] Singh, Mukesh. Kar, Indrani. Kumar, Praveen. Influence of EV on Grid Power Quality and Optimizing the Charging Schedule to Mitigate Voltage Imbalance and Reduce Power Loss 14th International Power Electronics and Motion Control Conference, 2010.
- [77] Dow, Luther Marshall, Mike. Xu, Le. Willis, H Lee. A Novel Approach for Evaluating the Impact of Electric Vehicles on the Power Distribution System IEEE Transactions on Power Systems, 2010.
- [78] Informe Final. Proyecto: "Calidad de la potencia eléctrica: Monitoreo y análisis para la estimación de indicadores en Bogotá - PQB". PAAS-UN. 2004. Bogotá. Colombia.
- [79] Informe Final. Proyecto: "Semillero de investigación en Calidad de Energía Eléctrica". PAAS-UN. 2004. Bogotá. Colombia
- [80] Informe Final. Proyecto: "Sistema Integral en Gestión de Calidad de Energía". PAAS-UN. 2008. Bogotá. Colombia
- [81] IEEE Std 1159 Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality 1995.
- [82] National Electricity Regulator South Africa. NRS 048-2:1996. Electricity Supply-Quality of Supply. Minimum Standards. 1996. [83] National Electricity Regulator South Africa. NRS 048-2:2007. Electricity Supply-Quality of Supply. Minimum Standards. 2007.