

# EL RUIDO ELÉCTRICO Y LOS TRANSITORIOS



## Nota de Aplicación

El ruido eléctrico es el resultado de más o menos señales eléctricas aleatorias que han formado pares dentro de los circuitos donde no se necesitan, es decir, donde distorsionan las señales de información. El ruido ocurre en ambos circuitos de poder y de señales, pero hablando en forma general, se convierten en un problema cuando llega a los circuitos de señales. Los circuitos de señales y de datos son particularmente vulnerables al ruido porque operan a velocidades rápidas y con niveles de bajo voltaje. Entre más bajo sea el voltaje de señal, menor será la amplitud de voltaje de ruido tolerable. El ratio de ruido-a-señal describe cuánto ruido puede tolerar un circuito antes que corrompa la señal y la información válidas.

El ruido es uno de los más poderosos misterios en la calidad de la energía, especialmente cuando debe considerarse como un concepto igualmente misterioso respecto a la conexión a tierra. Para minimizar el misterio, existen dos conceptos claves a entender:

- El primero es que los efectos eléctricos no requieren conexión directa (tal como ocurre través de los conductores de cobre). No puede ser intuitivo para un electricista que ha sido entrenado para medir, instalar y probar el cableado. Pensemos en el alumbrado, o en el primario y secundario de un transformador aislador, o en la antena de su radio: no existe ninguna conexión directa ni cableado, pero de alguna manera, los circuitos eléctricos completos sí existen. La misma conducta eléctrica reglamentaria opera para el acoplamiento del ruido como se explica a continuación.
- El segundo concepto es que no podemos permanecer por más tiempo en el campo de 60 Hz. Uno de los beneficios de 60 Hz es que se trata de una frecuencia lo suficientemente baja que los circuitos de poder pueden (casi) tratarse como si fueran circuitos de corriente directa;

en otras palabras, la Ley Ohm's básica le dará mejores referencias. Pero cuando llega a escucharse ruido, necesitamos tener en mente que los circuitos de señal presentan frecuencias altas en que el ruido es un espectro típico de las frecuencias, y lo que necesitamos considerar es la conducta dependiente de la frecuencia de los orígenes potenciales del ruido.

### Mecanismos de acoplamiento

Existen cuatro mecanismos básicos de acoplamiento del ruido. Es necesario entenderlos y cuál es la diferencia entre uno y otro, ya que mucho del trabajo de un encargado para resolver los problemas será el identificar qué efecto de acoplamiento es dominante en una situación en particular.

#### 1. Acoplamiento capacitivo

Frecuentemente se refiere al ruido electrostático y es un efecto basado en el voltaje. La descarga del rayo es solamente un ejemplo extremo. Cualquiera de los conductores separados por un material aislante (incluyendo el aire), constituye un capacitor – en otras palabras, la capacitancia es una parte inseparable de cualquier circuito. El potencial para el acoplamiento capacitivo se incrementa cuando la frecuencia aumenta (reactancia capacitiva, la cual puede ser la resistencia al acoplamiento capacitivo, disminuye con la frecuencia, como puede verse en la fórmula:  $X_c = 1/2\pi fC$

#### 2. Acoplamiento inductivo

Se trata de un ruido de acoplamiento magnético y es un efecto basado en la corriente. Cada conductor en el que corre flujo de corriente, está asociado con el campo magnético. Una corriente cambiante puede inducir corriente en cualquier circuito, aún si ese circuito es un circuito sencillo; en otras palabras,

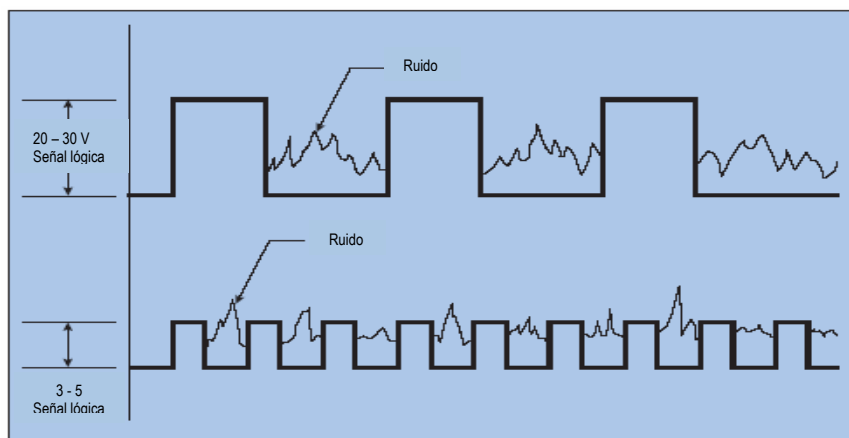


Figura 1. Voltaje más bajo, las señales más rápidas incrementan la sensibilidad al ruido

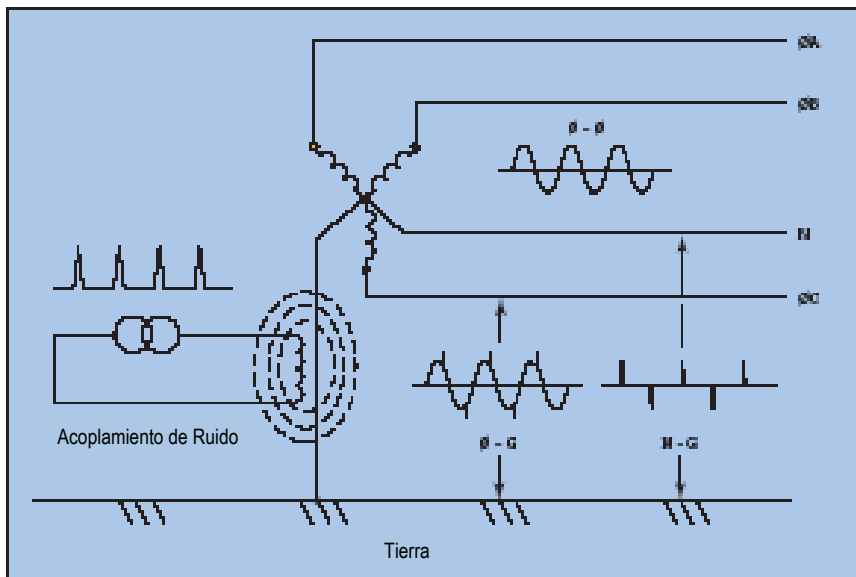


Figura 2. Acoplamiento del ruido. El ruido de la conexión a tierra medido como ruido G-Φ ó G-N

el circuito de origen actúa como un transformador primario, siendo el circuito víctima, el secundario. El efecto de acoplamiento inductivo aumenta con los siguientes factores: (1) más largo flujo de corriente, (2) más rápida velocidad en el cambio de corriente, (3) proximidad de los dos conductores (primario y secundario) y (4) entre más se asemeje el conductor adyacente a una bobina (de diámetro redondo en lugar de plano, ó embobinado en lugar de derecho).

Estos son algunos ejemplos de cómo el acoplamiento inductivo puede causar ruido en los circuitos de poder:

- Un transitorio surge, especialmente si ocurre en el circuito de energía máxima, causando un muy rápido cambio en la corriente, la cual puede acoplarse dentro de un conductor adyacente. La presencia de rayos es el peor caso, pero de igual forma lo son los transitorios de maniobras comunes o la formación de arco.
- Si los cables del alimentador están posicionados de tal manera que forman un campo magnético, entonces las corrientes pueden inducirse en los cables a tierra que comparten el conducto eléctrico.
- Es bien conocido que los cables de señal y los conductores de poder no deben estar en paralelo uno con el otro en el mismo conducto eléctrico, lo cual maximizaría su acoplamiento inductivo, por lo contrario, deben separarse y cruzarse en los ángulos correctos cuando

sea necesario. Los cables de entrada y salida también deben aislarse uno del otro en la misma forma.

Los campos magnéticos están aislados con un aislamiento efectivo. El material utilizado debe ser capaz de conducir campos magnéticos (de material ferroso en lugar de cobre). La razón por la cual un circuito dedicado (caliente, neutral, de tierra) debe correrse en su propio conductor metálico como sea posible y magnéticamente aislado para minimizar los efectos de acoplamiento inductivo.

Ambos acoplamientos, inductivo y capacitivo, se refieren a los efectos de campo, ya que dominan a distancias cortas y la distancia disminuye sus efectos de acoplamiento. Esto nos ayuda a explicar uno de los misterios del ruido – cómo un sencillo reposicionamiento físico del cableado puede tener tales efectos en el ruido acoplado.

### 3. Conducción del ruido

Mientras que todos los ruidos acoplados finalmente se refieren a la conducción del ruido, se utiliza generalmente este término al ruido acoplado por una conexión directa y galvanizada (metálica).

Se incluye en esta categoría, los circuitos que han compartido los conductores (tales como neutrales o de tierra compartidos). La conducción del ruido puede ser alta frecuencia, pero también puede ser 60Hz.

Ejemplos comunes de las conexiones que presentan ruido de corrientes directamente en la conexión a tierra:

- Sub-paneles con uniones extras G-N
- Tomacorrientes mal cableadas con N y G conectadas
- Equipo con dispositivos de protección internos en estado sólido que se han recortado desde la línea o desde el neutral a la conexión a tierra, ó que no han fallado pero que presentan derrame normal de corriente. Este derrame de corriente está limitado por la norma UL a 3.5 mA para equipos conectados a un enchufe, pero no existe limitante para los equipos cableados permanentemente con derrame de corrientes potencialmente más altos. (Se puede identificar fácilmente el derrame de corrientes porque desaparecerá cuando el dispositivo se encienda)
- Otro ejemplo común es la tan nombrada barra aislada de conexión a tierra. Cuando se encuentra en un punto a tierra potencialmente diferente al electrodo de conexión a tierra de origen, entonces se origina una curva cerrada de corriente a tierra. Esto todavía se conoce como conducción del ruido, aunque la conexión directa sea a través de la tierra.
- Las conexiones Datacom que proporcionan una línea metálica desde una terminal a otra pueden también ser conductores del ruido. En el caso de conexiones no balanceadas con terminales sencillas (RS-232), la conexión a la terminal a tierra se hace al final de cada cable. Esto forma una línea de corrientes a tierra si el equipo, en cada terminal, tiene un origen de energía diferente con una conexión a tierra diferente.

### 4. IFR (Interferencia de Frecuencia de Radio)

Los rangos de IFR pueden oscilar desde 10kHz a 10 s de MHz (hasta más altos). A estas frecuencias, la longitud del cableado empieza a actuar como antenas impulsoras y receptoras. El circuito culpable actúa como un impulsor y el circuito víctima actúa como una antena receptora. La IFR, como otros mecanismos de acoplamiento, es un factor de vida, pero puede controlarse (sin embargo, lleva tiempo y esfuerzo).

Existen varias estrategias para reducir el ruido de IFR:

- Cable de fibra óptica, claro, es inmune al ruido eléctrico
- Cableado con aislante (tales como cables coaxiales) rompen el acoplamiento entre el ruido y la señal.
- Circuitos balanceados (en pares) no rompen el acoplamiento, por lo contrario, se aprovechan del hecho de que la IFR se acoplará con ambos conductores (señal y retorno). Este ruido (nombrado como ruido de Modalidad Común) disminuye mientras se retiene la señal. En efecto, el circuito balanceado crea una alta impedancia para el ruido acoplado.
- Otro ejemplo del concepto ruido-alta impedancia es el utilizar reguladores de frecuencia. Utilizándose, ya sea con cables de energía o de datos, los reguladores de frecuencia pueden ofrecer impedancia de alta frecuencia efectiva ( $X_L$  aumenta con la frecuencia).

Se puede utilizar una línea de baja impedancia para eliminar el ruido. Este es el principio del filtrado y el uso de tapas no acopladas (la baja impedancia a la alta frecuencia, pero abierto a frecuencias de línea de poder). Sin embargo, existe un aspecto que algunas veces pasamos por alto y que es crítico: es la línea de conexión a tierra debe ser capaz de manejar corrientes de alta frecuencia. Para llevar a cabo esto, se utilizan técnicas de conexión a tierra de alta frecuencia. La RRS (Rejilla de Referencia de Señal), desarrollada principalmente para elevar las instalaciones de un cuarto de cómputo, es una solución efectiva. Esencialmente es una opción de conexión a tierra del equipo para altas frecuencias. (Para mayor información sobre conexiones a tierra de alta frecuencia, véase las referencias enlistadas en la página posterior).

### Conexión a tierra para señales

Para entender la importancia de conexiones a tierra para señales "limpias", discutamos la diferencia entre señales Modo Diferencial (MD) vs. Modo Común (MC). Imagine un circuito básico de dos cables: suministro y retorno. Cualquier corriente que circule o cualquier voltaje existente a través de una carga entre los dos cables se le llama MD (también se utilizan los términos: modo normal, modo transversal y modo de señal). La señal MD es típicamente la señal deseada (120V en un tomacorriente). Imagine un tercer conductor, típicamente un conductor a tierra. Cualquier corriente que fluya ahora a través de dos conductores originales y regrese en este tercer conductor es común para ambos conductores originales. La corriente MC es el ruido que la señal genuina tiene que vencer. La corriente MC es todo el tráfico que existe a través de toda la carretera. Podría haber llegado ahí a través de cualquiera de los mecanismos de acoplamiento, tales como el acoplamiento del campo magnético a la frecuencia de la línea de poder ó IFR a altas frecuencias. El punto es controlar o minimizar estas corrientes a tierra ó MC para facilitar la vida de las corrientes MD.

### Medición

Las corrientes MC pueden medirse con pinzas de corriente utilizando la técnica de la secuencia cero. El borne traza un círculo de señales pares (ó, en un circuito trifásico, todos los conductores trifásicos y el neutral, si existen). Si las corrientes de señal y de retorno son iguales, se cancelan los campos magnéticos opuestos e iguales. Cualquier lectura de corriente deber ser modo común, en otras palabras, cualquier lectura de corriente es corriente que no está regresando sobre el cableado de señal, pero sí vía una línea de conexión a tierra. Esta técnica aplica a las señales, así como a los conductores de poder. Para corrientes fundamentales, un amperímetro ó un DMM + un borne serán suficientes, pero para altas frecuencias, se necesitará un instrumento de alta banda ancha, tal como un analizador de calidad de la energía ó un osciloscopio con un borne como accesorio.

## UN CASO DE VIDA Y MUERTE

Algunas veces, el resolver problemas en la calidad de la energía es cuestión de vida y muerte.

Dave, el ingeniero en campo de la planta, estaba en el hospital. Un día recibió una llamada de una enfermera muy preocupada en el ER. Uno de sus pacientes había muerto. Pero a pesar de lo molesto que era, ésta no era la principal razón de su preocupación. Lo que realmente era inusual, era que ese a cadáver en particular todavía le latía el corazón.

Pronto Dave apareció en escena. Le tomó un simple vistazo para darse cuenta que el muerto no había sido vuelto a la vida. El problema radicaba en otro lado. Las enfermeras señalaron lo que habían visto, una señal en el electrocardiograma indicando latido de corazón. Pero había algo inusual acerca de esta señal (más allá del hecho que parecía que provenía de un cadáver). Notó que la señal era una curva sinoidal de 60 Hz (ligeramente aplanada).

Un vistazo más a los cables de la señal le indicó que habían sido colocados en paralelo al cordón de la energía. El acoplamiento entre los cables de la señal y de energía causaron el "latido de corazón" de 60 Hz en el electrocardiograma. La moraleja de la historia es el siempre aislar los conductores de señal y de energía – antes que llegue a ser cuestión de vida y muerte.



## Transitorios

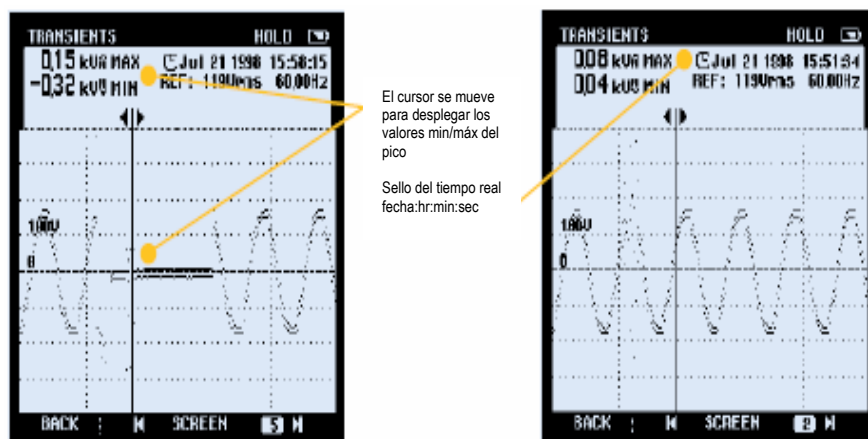


Figura 3. Captura del transitorio en un analizador de calidad de energía

Deben distinguirse los transitorios de las ondas eléctricas. Las ondas eléctricas son un caso especial de transitorio de alta energía como resultado de los golpes del rayo. Los transitorios de voltaje son eventos de energía más bajos, típicamente causados por la energización del equipo.

Son dañinos en diferentes formas:

- Deterioran los componentes de estado sólido. Algunas veces un transitorio de energía sencillo y alto harán mella en un bono de estado sólido, algunas veces los transitorios de energía bajos harán lo mismo. Por ejemplo, los transitorios que exceden el rango de diodos PVI (picos de voltaje inverso) son una causa común de falla de diodo.
- Su componente de alta frecuencia (elevación de tiempos rápidos) hace que se acoplen capacitivamente dentro de los conductores adyacentes. Si esos conductores son lógico-digitales, esa lógica se estropeará. Los transitorios también se acoplan a través de los devanados del transformador a menos que se proporcione el aislamiento especial. Afortunadamente, este mismo componentes de alta frecuencia causa que los transitorios sean localizados relativamente, ya que estos están amortiguados (atenuados) por la impedancia de los conductores (la reactancia inductiva se incrementa con la frecuencia).

- Los transitorios del capacitor del servicio público de energía son un ejemplo de transitorio de alta energía que ocurre en forma común (todavía sin ningún significado en los causados por los rayos) que pueden afectar las cargas en todos los niveles del sistema de distribución. Son una causa bien conocida de disparo fastidioso de los ASDs: tienen suficiente energía para manejar una corriente del transitorio dentro de la unión de corriente directa del impulsor y causar un disparo de sobrevoltaje.

Los transitorios pueden catalogarse por medio de forma de onda. La primera categoría son los transitorios "impulsivos", comúnmente llamados "picos", debido a que el pico de alta frecuencia causa una protuberancia en la forma de onda. El transitorio de distribución del cabezal, por otro lado, es un transitorio "oscilatorio" porque la forma de onda en forma de anillos viaja y distorsiona la forma de la onda normal. Es de baja frecuencia, pero de energía más alta.

### Causas

Los transitorios son inevitables. Se crean por la rápida distribución o por las corrientes relativamente altas. Por ejemplo, una carga inductiva, como un motor, crea un pico de rechazo cuando se enciende.

De hecho, cuando se remueve un Wiggy (equipo de prueba de voltaje solenoide) desde un circuito de alta energía, puede crear un pico de miles de voltios! Por otro lado, un capacitor crea un corto circuito momentáneo cuando se enciende. Después de este colapso repentino del voltaje aplicado, el voltaje rebota y ocurre una onda oscilatoria. No todos los transitorios son los mismos, pero por regla general, la distribución de la carga causa transitorios.

En las oficinas, la copiadora/impresora láser es el bien conocido "chico malo" en el circuito derivado de la oficina. Requiere un calentador interno para lanzarlo cuando se utilice y cada 30 segundos o más cuando no se utilice. Esta distribución constante tiene dos efectos: la sobretensión de la corriente o corriente rápida puede causar caídas de voltaje repetitivas; los cambios rápidos en la corriente también generan transitorios que pueden afectar otras cargas en la misma derivación.

### Medición y registro

Se pueden capturar los transitorios por medio de OADs (Osciloscopios de Almacenamiento Digital). Un analizador de calidad de energía, el cual incluye las funciones OAD, tiene la habilidad de capturar, almacenar y subsecuentemente desplegar 40 formas de onda de transitorio. Los eventos se etiquetan con la hora y la fecha (etiquetas de tiempo real). Una grabadora de voltaje por evento también capturará los transitorios en la derivación. Se proporcionan las etiquetas de voltaje máximo y de tiempo real.



## Supresores de la sobretensión del voltaje transitorio (SOEVT)

Afortunadamente, protegerse contra transitorios no es caro. Virtualmente todos los equipos electrónicos tienen (ó deberían tener) algún nivel de protección integrada. Uno de los componentes comúnmente utilizados es el VMO (varistor de óxido de metal) que engancha el exceso de voltaje.

Se aplican los SOEVT para proporcionar protección adicional contra transitorios y son dispositivos de bajo voltaje (600V)

y están probados y certificados por la norma UL 1449. La norma UL 1449 cataloga estos dispositivos por Grado, Clase y Modalidad. Como un ejemplo, la más alta categoría para estos dispositivos sería el Grado A (6000V, 3000<sup>a</sup>), Clase 1 (con un voltaje máximo de 330V) y Modalidad 1 (supresión de N-L). Se debe escoger la categoría más apropiada basada en las necesidades de protección de la carga:

Un Grado más bajo podría tener como resultado que un supresor durara un año en lugar de diez años. Los componentes de estado sólido en un supresor se deteriorarán por sí mismo conforme vayan eliminando los transitorios.

- Una Clase más baja permitiría el paso de demasiado voltaje que podría dañar la carga. Se recomienda el supresor Clase 1 para suministros de energía en la modalidad de distribución.
- Un dispositivo de Modalidad 2 pasaría los transitorios a tierra donde puedan interrumpir la operación del circuito electrónico.

## PERFIL DE SUSCEPTIBILIDAD DEL VOLTAJE

El nuevo Consejo de la Industria de la Tecnología de la Información (CITI) se basa en la investigación intensiva y actualiza la curva AFECN. La curva AFECN (Asociación de Fabricantes de Equipo de Cómputo para Negocios, ahora CITI) era el perfil de susceptibilidad del voltaje para los fabricantes de computadoras y otro equipo sensible. Se han desarrollado curvas similares

para equipos de 230V/50Hz y para impulsores de velocidad ajustables. Los eventos ocurridos fuera de la curva podrían requerir equipo adicional acondicionador de la energía y otras acciones correctivas. Un mayor cambio en el perfil es que los tiempos de las paralizaciones, así como de la tolerancia para las caídas de tensión se han incrementado por igual.

El ingeniero en campo asignado para solucionar los problemas debe considerar que los perfiles son recomendaciones y que una pieza en particular del equipo puede o no puede ajustarse al perfil. Habiendo dicho esto, los perfiles son todavía útiles porque cuando los eventos registrados se vuelven contra ellos, dan una idea general de la calidad del voltaje en una planta en particular.

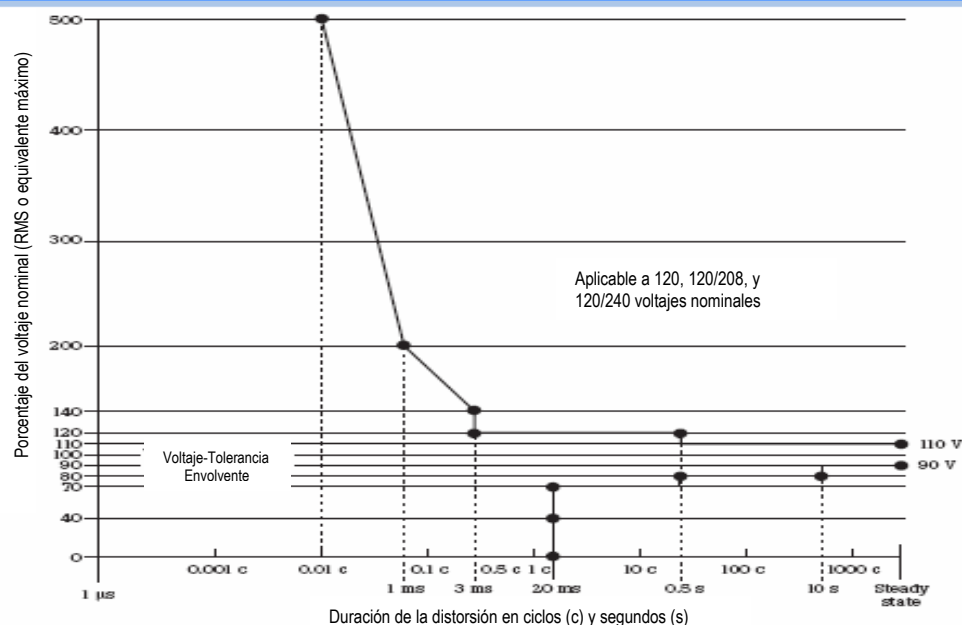


Figura 4. Curva CITI