

## MITIGACIÓN DE ARMÓNICAS EN INSTALACIONES CON *DRIVERS* DE MOTORES

Pedro E. Issouribehere, Gustavo A. Barbera y Fernando Issouribehere

Instituto de Investigaciones Tecnológicas Para Redes y Equipos Eléctricos

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA - ARGENTINA

**Resumen:** la Planta Industrial estudiada dispone de dos máquinas impresoras de última tecnología, contando cada una de ellas con 50 motores accionados con *drivers* de rectificador de 6 pulsos e inversor PWM. Se produjeron fallas en los descargadores de sobretensión (varistores) internos de los equipos, ocasionando en todos los casos la salida de servicio de la planta completa. Se encontró que la tensión en la barra de BT tenía un alto contenido armónico. El estudio explica el mecanismo de resonancia que ocasiona los eventos y define la solución para su mitigación.

### 1. INTRODUCCIÓN

La configuración de la red es la indicada en la Figura 1. Recibe de la Distribuidora en MT con doble circuito. Disponen de dos (2) transformadores de MT/BT de 2,5 MVA c/u. Las dos barras de BT, en condiciones de configuración básica, alimentan a las dos máquinas y a los servicios auxiliares de la planta.

El total de demanda contratada es de 2,5 MW, incluyendo el resto de cargas de la planta.

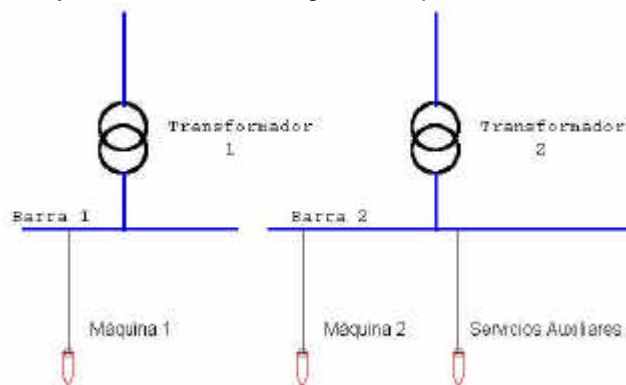


Figura 1 – Configuración de la red.

Ambas barras 1 y 2, si bien están dimensionadas para alimentar cada una a una máquina, no tienen iguales cargas. Mientras que la 1 alimenta a la

máquina 1, la 2 alimenta a la máquina 2 y a otras cargas de mayor peso.

En la operación con la configuración normal se produjeron fallas en equipos de la máquina 1 que ocasionaron la salida de servicio de la máquina. Se encontró que la tensión en la barra de BT tenía un alto contenido armónico. La situación se dio en todos los casos de prueba realizados, incluso intercambiando un transformador.

La situación no se da en la máquina 2 ni en la configuración de las barras 1 y 2 en paralelo y con un único transformador.

### 2. ANALISIS DEL CASO

Los registros realizados en las oportunidades de los eventos de fallas, muestran un alto contenido armónico, del tipo del de la Fig.8 en adelante. Las mediciones posteriores realizadas por el IITREE con equipos propios confirmaron las mediciones originales.

#### 2.1 Modelo Propuesto

En primera instancia se estudiaron los circuitos y las mediciones efectuadas con el propósito de obtener un modelo representativo del sistema.

Un diagrama en bloques del sistema bajo estudio se muestra en la Figura 2.

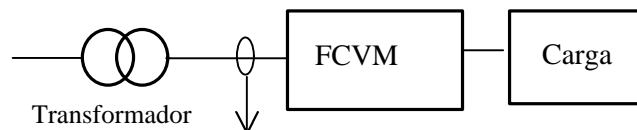


Figura 2 – Diagrama en bloques del sistema.

En este diagrama se encuentra representado el Transformador MT/BT, los filtros de las fuentes de los controladores de velocidad de los motores (FCVM) y la carga. Esta carga representa a los controladores de velocidad, los motores; etc.

El modelo fue estudiado según su equivalente monofásico por cuestiones de simplicidad, siendo

por lo demás totalmente representativo del sistema real.

El transformador se representó por medio de una serie compuesta por un resistor y un inductor, cuyos valores fueron obtenidos a partir de sus datos característicos y de las mediciones efectuadas. Esta representación incluye el aporte de la potencia de cortocircuito de la red pública de MT.

Los FCVM fueron representados según el circuito relevado existente. El circuito esquemático equivalente del FCVM y del transformador se muestra en la Figura 3.

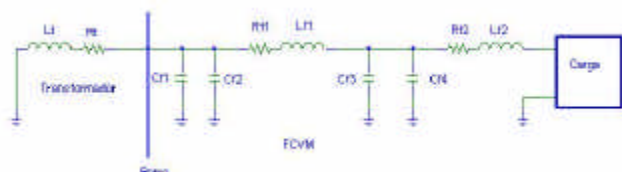


Figura 3 – Circuito Esquemático

Ya que las mediciones realizadas indicaron valores de corrientes armónicas típicos de un rectificador trifásico de 6 pulsos, se representó a la carga como generadores de corrientes armónicas. Las amplitudes de éstos generadores fueron ajustadas según los valores teóricos de las corrientes generadas por dichos rectificadores.

Con el propósito de validar el modelo propuesto, se efectuó una serie de comparaciones entre mediciones y simulaciones. En las Figuras 4 y 5 se presentan oscilogramas y diagramas espectrales de registros efectuados en el punto de medición indicado en la Figura 2.

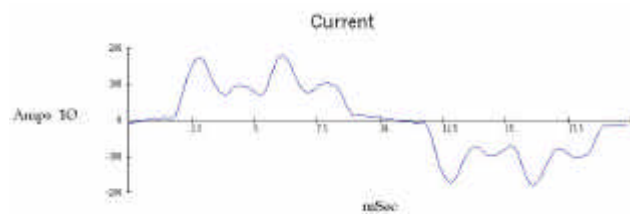


Figura 4 – Oscilograma de la Corriente medida.



Figura 5 – Contenido armónico de la Corriente medida.

De la simulación realizada se obtuvo el contenido armónico de la corriente, según se observa en la figura 6. Estos resultados se asemejan considerablemente a las mediciones realizadas.

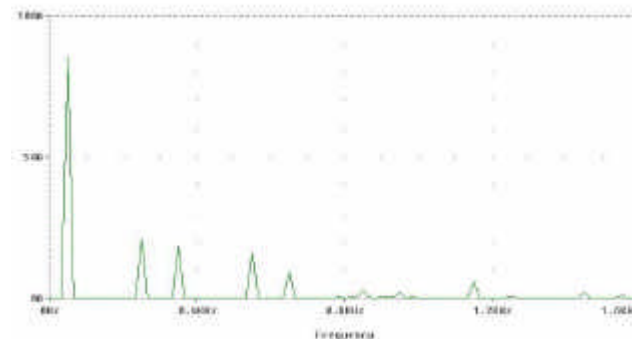


Figura 6 – Contenido armónico de la Corriente simulada.

## 2.2 Análisis del caso de falla.

Basado en el estudio previo, se confeccionó el nuevo modelo para simular la configuración del sistema para la condición en la cual se produjo la falla. Esto es, **un transformador alimentando a una sola máquina.**

El nuevo esquema en el cual se basaron las simulaciones se indica en la Figura 7.

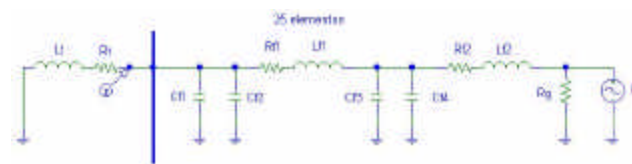


Figura 7 – Circuito simulado para la condición de la falla.

Este sistema está compuesto por el transformador, 25 elementos FCVM - uno cada dos motores -, y las cargas perturbadoras descritas.

El oscilograma de la corriente en la barra y su contenido espectral, se muestran en las figuras 8 y 9.

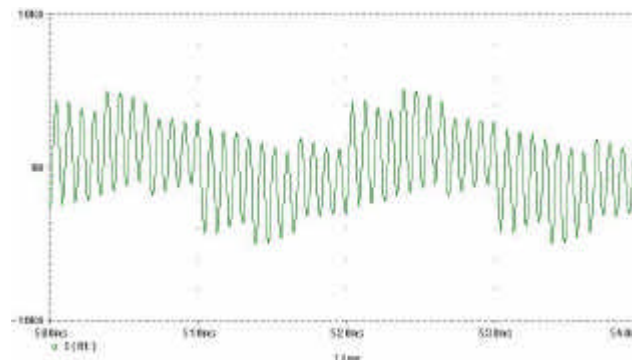


Figura 8 – Oscilograma de la Corriente simulada.

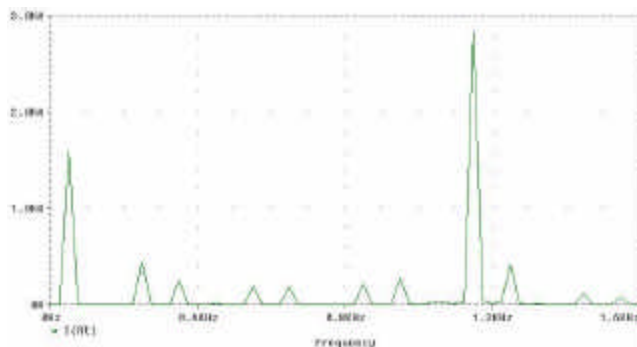


Figura 9 – Contenido armónico de la Corriente simulada.

Puede observarse que la **armónica 23 es del orden del 175% de la frecuencia fundamental, y la distorsión armónica total de corriente es del 185%.**

Posteriormente se analizó la tensión en la barra. Los resultados se presentan en las Figuras 10 y 11.

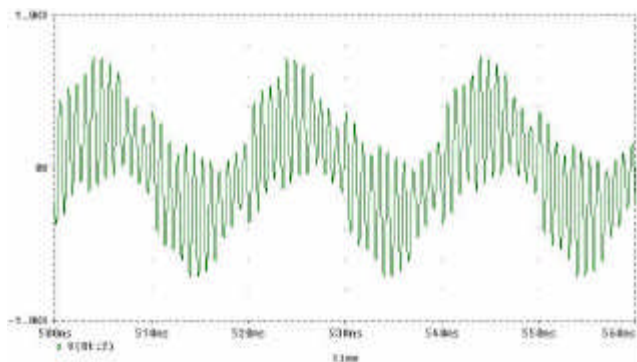


Figura 10 – Oscilograma de Tensión en la barra.

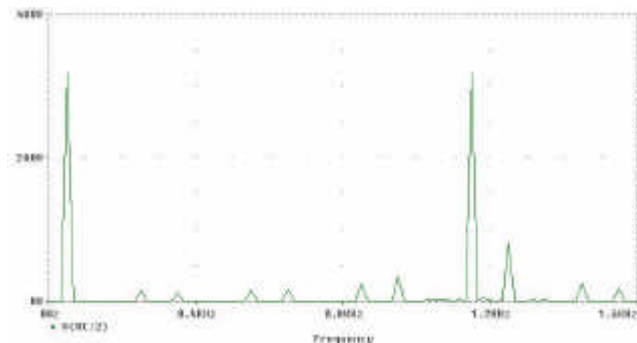


Figura 11 – Contenido armónico de Tensión en la barra.

La fuerte distorsión que se produce en la tensión en la barra se debe a la resonancia entre la reactancia de cortocircuito del transformador y las capacidades de los filtros de RFI. Esta resonancia se da entre la 21/23 armónicas. También el fenómeno se magnifica por las muy bajas pérdidas del circuito. La situación de resonancia se da independientemente del número de motores en

funcionamiento ya que los filtros de RFI están siempre conectados (los contactores de los motores están ubicados a valle de los filtros). La magnitud del fenómeno sí depende del número de motores en funcionamiento y de sus estados de carga, ya que el contenido armónico generado por los rectificadores es proporcional a la potencia en juego.

Los niveles de sobretensión que se producen en la barra ocasionan el cebado en régimen permanente de los descargadores y las consecuentes fallas por temperatura en no más de 50ms.

Además, los niveles son incompatibles con las normas de Calidad usuales, tanto en la tensión interna como en la corriente emitida a la red.

## 2. MITIGACIÓN DEL FENÓMENO. SOLUCIÓN PROPUESTA

Se mencionarán brevemente algunos casos estudiados.

**Filtro resonante paralelo:** Una alternativa analizada fue insertar un filtro resonante LC a la frecuencia de la armónica 23, con el propósito mitigar esta componente en particular y observar el comportamiento en el resto de las frecuencias de interés. Se logró la atenuación buscada en la armónica 23. Sin embargo, también aparecieron magnificaciones indeseadas en otras frecuencias dentro del espectro de interés; sobre todo una de ellas es cercana a la armónica 11 que es una de las características en este tipo de rectificadores.

### Inclusión de un reactor serie cada cuatro FCVM.

En este caso se estudia la posibilidad de colocar un reactor serie cada cuatro filtros (correspondiente a una torre). El resultado indicó una magnificación aún importante a la frecuencia correspondiente a la armónica 23, y por lo tanto la desventaja de esta solución es que no atenúa lo suficiente el fenómeno de resonancia del sistema.

**La solución adoptada** consiste en un filtro cuyo propósito es el de amortiguar la magnificación presentada por el sistema en el entorno de dicha frecuencia. Este filtro se ubicará en paralelo con las cargas perturbadoras. Tiene una configuración pasabajos (PB), en la que la presencia del capacitor se justifica debido a la gran potencia a frecuencia industrial que disiparía el resistor en su ausencia.

El objeto de este filtro es:

- Reducir el contenido armónico (en los órdenes altos que dieron origen a las fallas) de corriente inyectado en la red, de forma tal que estos niveles se encuentren dentro de los límites especificados para los Usuarios Industriales según las normas de La Argentina [1].
- Reducir la distorsión armónica de tensión en la barra interna de forma tal que se encuentre dentro de alguno de los niveles recomendados para barras industriales en las normas IEC [2].

El modelo del sistema con el filtro incorporado es el de la Fig. 12. En las figuras 13 y 14 se observa la forma de onda de la corriente y su espectro.

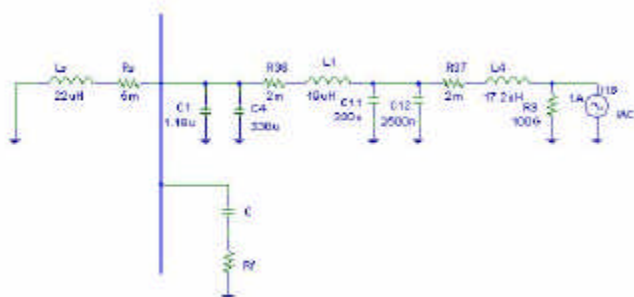


Figura 12 – Esquema circuital con Filtro incorporado.

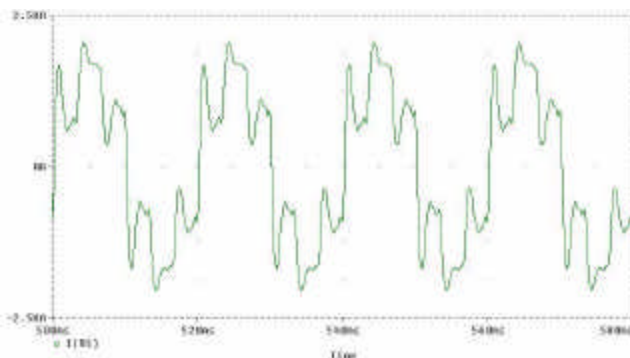


Figura 13 – Oscilograma de la Corriente con el Filtro.

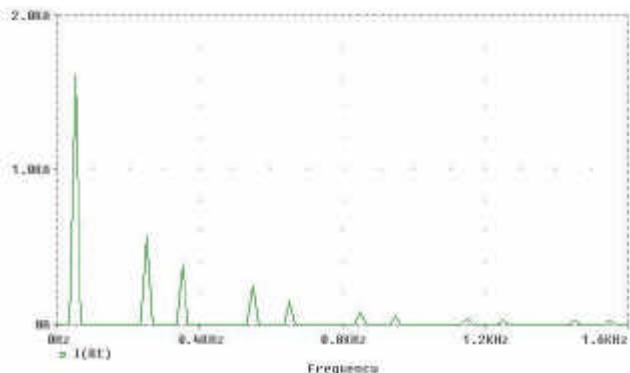


Figura 14 – Contenido armónico de la Corriente con el Filtro incorporado.

En las figuras 15 y 16 se observan el oscilograma de tensión en la barra y su contenido armónico respectivamente.

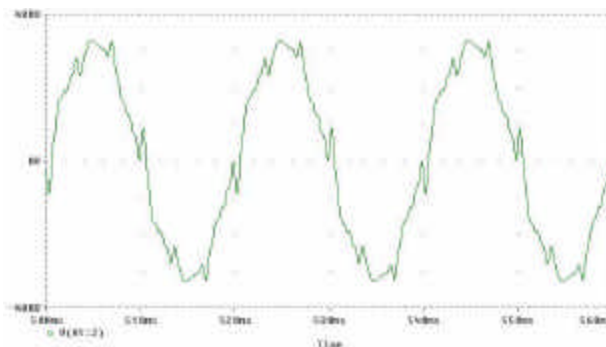


Figura 15 - Oscilograma de la Tensión con el Filtro.

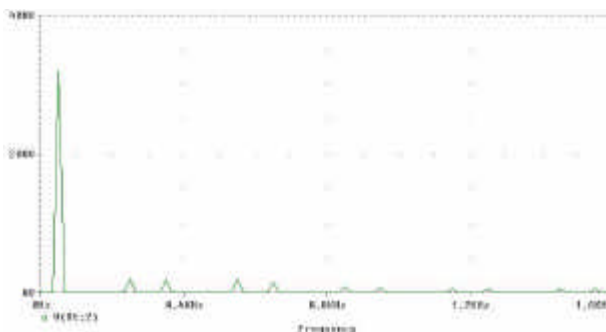


Figura 16 - Contenido armónico de la Tensión con el Filtro incorporado.

Tomando como objetivo principal contener la distorsión de tensión en la barra interna del sistema **se elige como solución para el problema el filtro de 200kVAr.**

Se hace notar que desde el punto de vista del dimensionamiento, y debiendo la batería ser sobredimensionada para la circulación de las armónicas, la potencia a instalar no alcanzará al factor 2 que surge de la erogación de reactivo a frecuencia industrial.

Para la solución de 200kVAr, se observa una importante mitigación del contenido armónico original de corriente, fundamentalmente a partir de la armónica 13.

- Los nuevos niveles de corrientes armónicas inyectadas a la red, para una Corriente de Demanda de 4600 A (que corresponde a la actual demanda de 2,5 MW y un factor de potencia de referencia de 0,85) y que de los cuales sólo el 25% corresponde a corriente distorsionada, se encuentran dentro los niveles exigidos por las normas [1].

- Los nuevos valores de tensión en la barra más distorsionada - Barra 1 con Máquina 1 - solamente son similares a los recomendados en la Norma [2] para una barra industrial Clase 3, que corresponde a la clase con mayor distorsión. Este nivel se acepta dado el carácter de interna del establecimiento y destinada a servir a cargas industriales distorsionantes.

Debido a los efectos que pudiera tener la batería en el factor de potencia de la planta, se estudió la posibilidad de colocar un reactor de 200kVar en paralelo con la batería.

El contenido armónico de la corriente en la barra permaneció inalterado luego de colocar el reactor, como puede observarse en la figura 18.

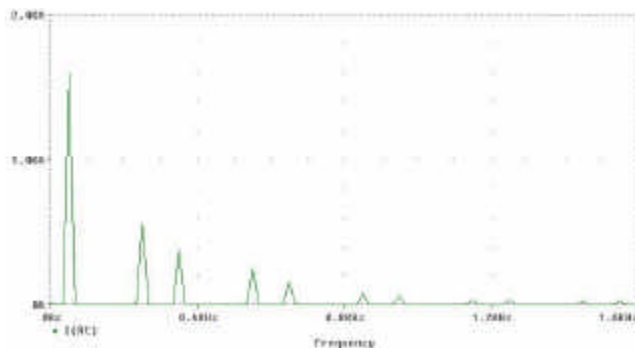


Figura 18 – Contenido armónico de la Corriente en la barra con Reactor incorporado.

Se verificó posteriormente el efecto de la desconexión de la batería en la tensión de la barra interna. En la figura 19 se muestra un caso de los numerosos estudiados, variando las condiciones de apertura.

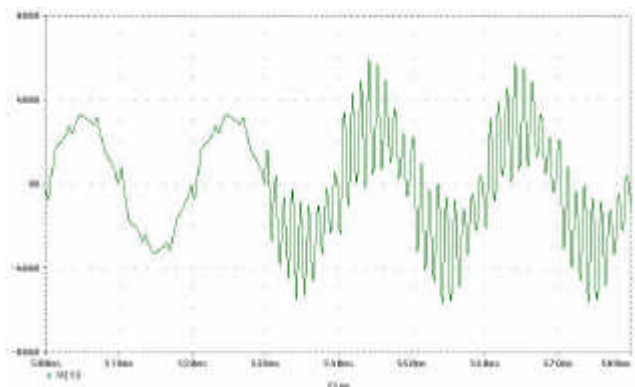


Figura 19 – Efecto de desconexión de la batería.

En la figura puede observarse que el único efecto de la desconexión de la batería en el sistema es

que aumenta el contenido armónico de la tensión, pero no aparecen sobretensiones transitorias en la barra.

### 3. CONCLUSIONES.

Este problema práctico de Compatibilidad Electromagnética pone en evidencia la importancia de adaptar las Cargas Perturbadoras a sus redes de suministro, situación que adquiere mayor relevancia en aquellos mercados donde se han establecido normas de Calidad del Servicio Eléctrico. En especial aquí se trata de una magnificación de la emisión de armónicas por parte de un rectificador convencional debida a la resonancia entre la red (muy potente y de bajas pérdidas) con los propios filtros de mitigación, originales del equipamiento, pero previstos para otro fenómeno (RFI).

Es interesante destacar la facilidad con la que los fenómenos pueden ser modelados - a partir de su validación con mediciones de campo -, explicar con ellos los mecanismos intervinientes y, luego, ensayar las alternativas de mitigación.

La solución dada para mitigar la perturbación es simple y se aparta de las soluciones típicas (filtro resonante p.e.), las que demostraron no ser aconsejables para este caso.

### 4. REFERENCIAS

[1] IEC 1000-2-4 (1994), *Compatibilidad Electromagnética: Niveles de compatibilidad en las plantas industriales, para las perturbaciones conducidas de baja frecuencia.*

[2] "Resolución ENRE 99/97": *Base Metodológica para el Control de La Emisión de Perturbaciones.*

[3] Programa de Simulación de Circuitos Eléctricos SPICE N° de registro 109949.

#### Autor Principal:

Nombre: Pedro E. Issouribehere  
 e-mail: pedroi@iitree.ing.unlp.edu.ar  
 fax: 54 221-425-0804 int 322  
 teléfono: 54 221-423 6695/6697  
 Direcciones: Calle 48 y 116 La Plata Argentina