

## CASO DE ESTUDIO:

### *Estudio de la frecuencia de resonancia en una fábrica específica y su perfil de corrientes y voltajes armónicos*

Escrito por Delvin Ríos Rodríguez, 2025-06-15.

## SINOPSIS

El presente proyecto tiene como objetivo principal analizar las condiciones de resonancia eléctrica que pueden presentarse en una fábrica específica, considerando la presencia de armónicos en la red interna. Se realiza una evaluación del perfil de voltajes y corrientes armónicas presentes en la instalación, así como el cálculo de la frecuencia de resonancia en función de los elementos inductivos y capacitivos del sistema eléctrico, donde se obtiene que el armónico es el quinto con una frecuencia de 300 Hz el cual no coincide con el valor la frecuencia de resonancia de la red.

## RESONANCIA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

En ambientes industriales es común encontrar fuentes de distorsión armónica debido a cargas no lineales. La interacción entre estas fuentes armónicas y los bancos de capacitores o la impedancia del sistema puede derivar en condiciones de **resonancia paralela o serie**, las cuales amplifican determinadas frecuencias armónicas, comprometiendo la calidad de la energía y afectando equipos sensibles.

Todos los circuitos que comprenden elementos de capacitancia e inductancia tienen una o más frecuencias de resonancia. El sistema de distribución eléctrica que es un gran circuito eléctrico que consiste en estos dos elementos tiene por lo tanto su frecuencia de resonancia.

En una red industrial se tiene una configuración típica de su transformador de alimentación de la industria y el banco de capacitores en paralelo para la corrección del factor de potencia forman un circuito tanque resonante paralelo. Esto produce un intercambio de energía entre estos elementos a la frecuencia de resonancia  $f_o$

En la Ecuación [1] se muestra el cálculo de la frecuencia de resonancia  $f_o$

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

Si la frecuencia eléctrica de alimentación es aproximadamente igual a la frecuencia de resonancia de la industria se puede dar una amplificación del armónico, produciendo sobrevoltajes que podrían dañar los equipos de la red.

Otra forma para calcular la frecuencia de resonancia, es a partir de la capacidad de cortocircuito del transformador y la potencia reactiva del banco de capacitores tal como se muestra en la Ecuación (2).

$$f_o = 60 \sqrt{\frac{S_{sc}}{Q}} \quad (2)$$

donde

$S_{sc}$  es la capacidad del cortocircuito a la salida del transformador y

$Q$  es la potencia reactiva del banco de capacitores

### CASO REAL

El transformador de la subestación tiene una potencia de 2500 kVA y una impedancia característica de 6.66%. El banco de capacitores es de 500 kVAR, divididos en cinco etapas variables de 100 kVAR.

La capacidad de cortocircuito a la salida del transformador queda determinada por la Ecuación (3).

$$S_{sc} = \frac{2500 \text{ kVA}}{6.66\%} \approx 37,537.5 \text{ kVA} \quad (3)$$

Se construye la Tabla 1 para determinar la frecuencia resonante dependiendo del número de etapas conectas del banco de capacitores.

Tabla 1. Frecuencia de Resonancia

| Etapas<br>[#] | Potencia<br>reactiva<br>conectada<br>[kVA] | Capacidad de<br>cortocircuito<br>[kVA] | Frecuencia de<br>resonancia<br>[Hz] |
|---------------|--|--|-------------------------------------|
| 1             | 100  | 37537.5                                | 1162.5                              |
| 2             | 200  | 37537.5                                | 822.0                               |
| 3             | 300  | 37537.5                                | 671.2                               |
| 4             | 400  | 37537.5                                | 581.2                               |
| 5             | 500  | 37537.5                                | 519.9                               |

A partir de las mediciones de energía del medidor principal de la industria se logra obtener el periodo de máxima demanda de la industria, el cual corresponde desde las 11:30am hasta las 4:15pm tal como se muestra en la siguiente figura:

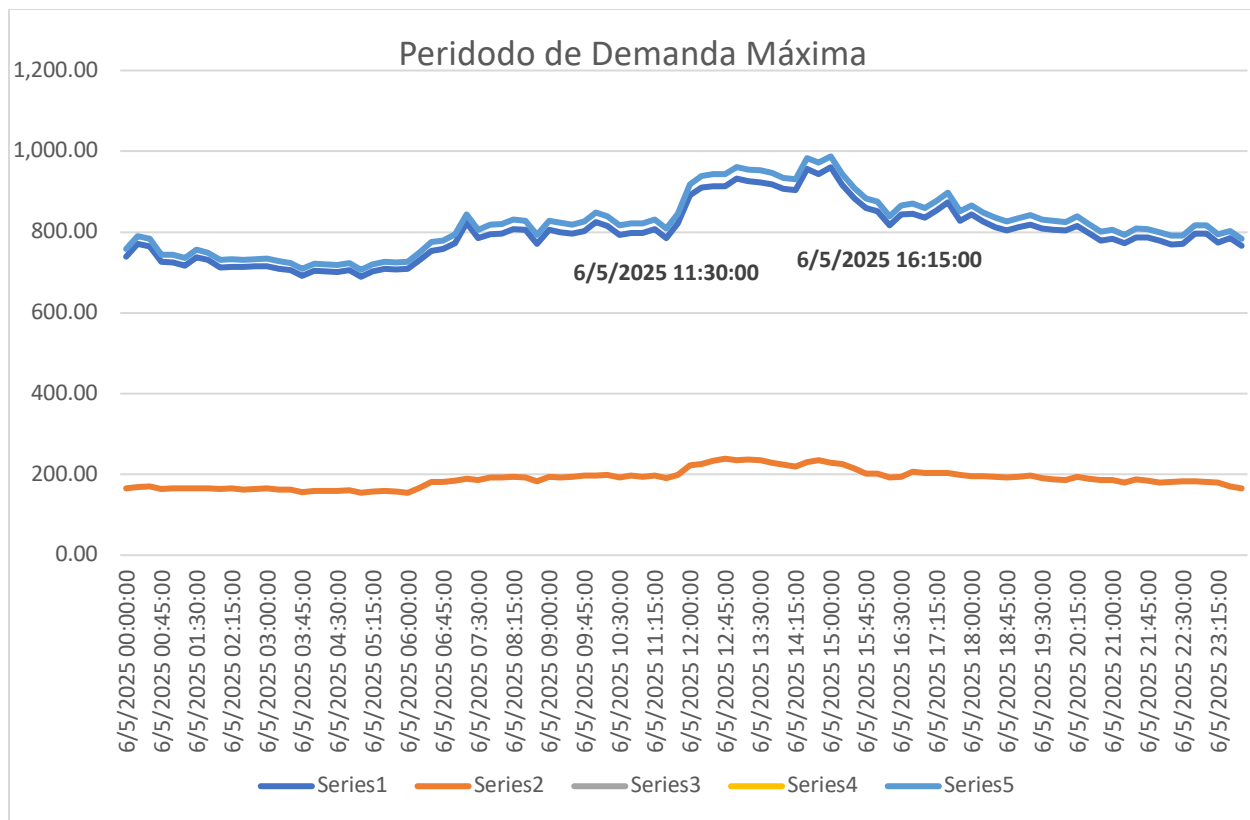


Figura 1: Curva de demanda industria

Una vez conocido el periodo de máxima de máxima demanda se procede a obtener el promedio de las corrientes armónicas en la industria en este intervalo obteniendo el siguiente perfil de corrientes de la Tabla 2.

Tabla 2. Perfil de Corrientes Armónicas

| Componente | Magnitud de corrientes promedio en intervalo de máxima demanda |         |         |
|------------|--|---------|---------|
|            | I1   | I2      | I3      |
| 1          | 1,130.07   | 1096.36 | 1110.55 |
| 3          | 1.82   | 2.55    | -       |
| 5          | 4.04   | 4.26    | 4.23    |
| 7          | 1.64   | 1.76    | 1.94    |
| 9          | 0.49   | 0.43    | 0.34    |
| 11         | 1.68   | 1.31    | 1.30    |
| 13         | 1.28   | 0.99    | 1.13    |
| 15         | 0.60   | 0.43    | 0.67    |
| 17         | 2.71   | 2.24    | 2.48    |

Se observa de la Tabla 2 que, la componente de armónica más dominante es la quinta armónica, la cual tiene una frecuencia de 300 Hz.

De la Tabla 1 se evidencia que en la etapa 5 la frecuencia de resonancia tiene su mayor cercanía con la novena armónica. Sin embargo, la magnitud de la novena armónica es considerablemente pequeña, por lo que una resonancia no debería provocar una situación de riesgo.

## **CONCLUSIÓN**

Para esta industria, aunque la frecuencia de resonancia se presenta cerca de las corrientes armónicas, por sus magnitudes tan bajas no debería presentar situaciones de riesgo.

## **BIBLIOGRAFIA**

[1] M. Z. C. Wanik, Y. Yusuf, K. C. Umeh "Simulation of Resonance and Harmonic Amplification in Industrial Distribution System" National Power & Energy Conference (PECon), 2004.